

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO GEOLOGIA



**Caracterização das águas subterrâneas e dos seus percursos
na Colina do Castelo: contributo para a valorização do
património hidrogeológico**

Filipa Pedro Brás

**Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do
Território**

Dissertação orientada por:

Professora Doutora Maria do Rosário Carvalho

Professora Doutora Maria Catarina Silva

2020

AGRADECIMENTOS

Às minhas orientadoras, a Professora Doutora Maria do Rosário Carvalho, a Professora Doutora Maria Catarina Silva e a Dra. Cláudia Pinto (Câmara Municipal de Lisboa) pelo apoio, acompanhamento e orientação ao longo deste percurso que foi a realização deste trabalho. Agradecer todas as sugestões e correções dadas.

Ao Dr. Pedro Miranda e ao Dr. Rui Matos, ambos da Câmara Municipal de Lisboa, por todo o acompanhamento que dedicaram a este trabalho, todas as visitas para recolha de águas, todas as oportunidades de visitar locais que de outro modo não teria acesso, assim como toda a disponibilidade e ajuda que ofereceram ao longo destes meses de trabalho.

Aos meus amigos os que me acompanham desde sempre e que cá vão continuar, os que não me deixam desistir em ocasião nenhuma, aqueles que são as minhas pessoas de todos os dias. Aos que estiveram presentes em todas as etapas do meu percurso e que ajudaram também na construção desta etapa.

Aos meus colegas de faculdade agradecer toda a entreaajuda destes últimos anos, tornaram a passagem por este percurso mais feliz. Em especial ao grupo que de mais perto me apoiou.

Aos meus camaradas, que me acompanham na vida e que me acompanharam nesta fase, estando sempre do meu lado dando todo o apoio possível.

À minha família, que sempre acreditou que tudo era possível e que poderia ser e fazer o que quisesse. Que me apoiou incondicionalmente nas minhas escolhas, no meu percurso e no meu trabalho.

À minha mãe e ao meu avô por tudo nesta vida, por todas as oportunidades que me deram de crescer e ser a pessoa feliz que sou. Pela oportunidade de fazer este curso e este trabalho, por me apoiarem em tudo o que faço e irei fazer daqui para a frente. Por poder percorrer todos os caminhos do mundo com eles ao meu lado, com tudo de bom que este mundo nos pode dar.

A quem, já não estando cá, está sempre comigo em tudo o que faço.

Índice	
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO.....	2
3. EVOLUÇÃO DA CIDADE DE LISBOA.....	3
3.1 Ocupação e Construção	3
3.2 Abastecimento de Água.....	7
3.3 Estruturas de Abastecimento	11
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
4.1. Relevo.....	14
4.2. Litologia e Estratigrafia	14
4.3 Tectónica	17
4.4 Hidrogeologia	18
4.4.1 Enquadramento da área de estudo	18
4.4.2 Hidrogeologia de Alfama	18
4.4.3 As nascentes termais e minerais de Alfama	21
5. METODOLOGIA.....	27
5.1. Informação base.....	27
5.2. Amostragem e Métodos Analíticos de Águas	27
6. RESULTADOS e DISCUSSÃO	29
6.1 Análise de Sondagens	29
6.2 Composição Físico-química da água	35
6.3 Isótopos ambientais estáveis: Oxigénio-18 e Deutério.....	39
7. MODELO HIDROLÓGICO CONCEPTUAL	42
8. PERCURSOS DA ÁGUA EM ALFAMA	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	51
ANEXO 1 – Localização de Estruturas de Abastecimento	51
ANEXO 2 – Relatórios de sondagens disponibilizadas pela CML	54
ANEXO 3 – Ficha de Campo: Locais de Amostragem das Águas de Alfama.....	55
ANEXO 4 – Resultados (Gráficos e Diagramas de Piper)	65
ANEXO 5 – Folheto: Percursos da água em Alfama	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área em estudo sobre imagens Google Earth.	2
Figura 2: Planta de Lisboa Romana (Imagem retirada de Link 1).....	3
Figura 3: Casa dos Bicos, Lisboa (Imagem retirada da Fundação José Saramago)	4
Figura 4: Estrutura fabril de salga de peixe (Imagem retirada da Fundação José Saramago).....	4
Figura 5: Termas dos Cássios (Imagem retirada do Link 9).	5
Figura 6: Lisboa delimitada pela Muralha Fernandina, designada à data por “Cerca Nova” (Imagem retirada de Link 1).	5
Figura 7: Terreiro do Paço em 1500 (Imagem retirada de Link 1).....	6
Figura 8: Limite do incêndio pós-terramoto 1755, onde se observa o limite de destruição na cidade (imagem retirada do Link 1).....	6
Figura 9: Aqueduto das Águas Livres, zona do Vale de Alcântara; (Imagem retirada do Link 4).	9
Figura 10: Estruturas de Abastecimento conhecidas na área em estudo, em Google Earth; Informação CML.	11
Figura 11: Fonte das Ratas, localizada no Largo das Alcaçarias (retirada do Link 9). ..	12
Figura 12: Chafariz d'El Rei. Imagem retirada do Link 6.	12
Figura 13: Chafariz de Dentro.	13
Figura 14: Área de estudo enquadrada na Folha 34-D da Carta Geológica de Portugal 1:50 000 (Pais et al., 2006).	14
Figura 15: Legenda da Folha 34-D da Carta Geológica de Portugal 1:50 000 (Pais et al., 2006).....	15
Figura 16: Esquema geológico da área do Castelo de São Jorge e Alfama LNEG(2016),; com localização histórica das nascentes termominerais de Alfama. Na ampliação da área observa-se as temperaturas das exsurgências e os diagramas de Stiff, agrupados por fácies hidroquímicas (Ribeiro et al., 2017).....	17
Figura 17: Unidades Hidrológicas de Portugal Continental, retirado do SNIRH.	18
Figura 18: Graus de permeabilidade da área de estudo	20
Figura 19: Localização das ocorrências hidrotermais de Alfama, (C.M.L., 2010)	21
Figura 20: Esquema Geológico da zona das nascentes de Alfama (Moitinho de Almeida, 1972).....	22
Figura 21: Perfil Geológico interpretativo da zona das nascentes de Alfama (Moitinho de Almeida 1972).....	22
Figura 22: Fotografia da Fonte das Ratas (Ramalho e Lourenço, 2006).....	23
Figura 23: Foto do Beco dos Cortumes, visto de dentro (1924), foto de Eduardo Portugal, in AML (Arquivo Municipal de Lisboa)	24
Figura 24: Chafariz d'El Rei.	25
Figura 25: Chafariz de Dentro.	25
Figura 26: Chafariz da Praia (Link 5).	26
Figura 27: Distribuição das sondagens disponibilizadas pela CML.....	27
Figura 28: Localização dos pontos de amostragem de águas subterrâneas em Alfama, sobre mapa GoogleEarth.....	28
Figura 29: Localização, em planta, das sondagens utilizadas para construção de perfis geológicos.....	29

Figura 30: : Localização das sondagens estudadas e respetivos logs, em 3D, usando o software GMS.....	30
Figura 31: Perfis geológicos desenhados com o software GMS, utilizando logs de sondagens na parte central da área de estudo; traço a preto no meio da formação dos Calcários do Casal Vistoso representa o nível piezométrico da zona.....	31
Figura 32: Perfis geológicos desenhados com o software GMS, utilizando logs de sondagens na parte sul da área de estudo; traço a preto no meio da formação das Areolas de Estefânia representa o nível piezométrico da zona	32
Figura 33: Perfis geológicos desenhados com o software GMS, utilizando logs de sondagens na parte sul da área de estudo; traço a preto no meio da formação das Areolas de Estefânia representa o nível piezométrico da zona	33
Figura 34: Mapa piezométrico da área de estudo, utilizando o software ArcGIS	34
Figura 35: Representação das amostras de água de Alfama num Diagrama de Piper	37
Figura 36: Relação entre as Recta das Águas Meteóricas de Portugal, a recta das Águas Meteóricas Global (Craig, 1961) e as amostras recolhidas em Alfama.....	40
Figura 37: Relação entre a composição isotópica de oxigénio e a condutividade elétrica.	41
Figura 38: Relação entre a composição isotópica de deutério e a condutividade elétrica.	41
Figura 39: Modelo hidrológico conceptual da área de Alfama realizado por Marrero-Diaz & Ramalho (2015).....	42
Figura 40: Capa e contracapa do folheto "Percurso da água em Alfama"	44
Figura 41: Percurso pedestre pelas águas de Alfama, gerada em Google Earth.	45
Figura 42: Divisão por sectores das estruturas de abastecimento conhecidas na área em estudo	51
Figura 43: Estruturas de abastecimento no Sector 1 da área em estudo.....	51
Figura 44: Estruturas de abastecimento no Sector 2 da área em estudo.....	52
Figura 45: Estruturas de Abasteciemnto no Sector 3 da área em estudo	52
Figura 46: Estruturas de abastecimetno no Sector 4 da área em estudo.....	53
Figura 47: Localização da amostra Alfama 1, Alfama 9 e Alfama 10, sobre mapa GoogleEarth.....	55
Figura 48: Localização da amostra Alfama 2, sobre mapa GoogleEarth.	56
Figura 49: Local de recolha da amostra Alfama 2, no interior de um edifício no Beco dos Cortumes.....	56
Figura 50: Localização da amostra Alfama 3, sobre mapa GoogleEarth.	57
Figura 51: Localização da amostra Alfama 4, sobre mapa GoogleEarth; no topo direito, pormenor da cisterna onde foi recolhida a amostra	58
Figura 52: Localização da amostra Alfama 5	59
Figura 53: Local de amostragem da água Alfama 5, na Cisterna do Museu do Fado. ...	59
Figura 54: Localização da amostra Alfama 6.	60
Figura 55: Cisterna na qual foi realizada a amostragem.....	60
Figura 56: Cisterna na qual foi realizada a amostragem.....	60
Figura 57: Localização da amostra Alfama 7.	61
Figura 58: Exterior da Capela da Nossa Senhora dos Remédios;.....	62
Figura 59: Interior da Capela da Nossa Senhora dos Remédios;.....	62
Figura 60: Poço do qual foi recolhida a amostragem	62
Figura 61: Material utilizado na recolha de amostragem	62

Figura 62: Localização da amostra Alfama 8.	63
Figura 63: Entrada para o edifício no qual se encontrava a nascente	63
Figura 64: Entrada para as galerias romanas na qual se encontra a nascente.	63
Figura 65: Tuneis romanos no qual se encontra a nascente amostrada	64
Figura 66: Local de amostragem.	64
Figura 67: Local da nascente.	64
Figura 68: Recolha da amostra	64
Figura 69: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 1.....	65
Figura 70: Diagrama de Piper da amostra Alfama 1.	65
Figura 71: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 2.....	66
Figura 72: Diagrama de Piper da amostra Alfama 2.	66
Figura 73: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 3.....	67
Figura 74: Diagrama de Piper da amostra Alfama 3.	67
Figura 75: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 4.....	68
Figura 76: Diagrama de Piper da amostra Alfama 4.	68
Figura 77: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 5.....	69
Figura 78: Diagrama de Piper da amostra Alfama 5.	69
Figura 79: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 6.....	70
Figura 80: Diagrama de Piper da amostra Alfama 6.	70
Figura 81: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 7.....	71
Figura 82: Diagrama de Piper da amostra Alfama 7.	71
Figura 83: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 8.....	72
Figura 84: Diagrama de Piper da amostra Alfama 8.	72
Figura 85: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 9.....	73
Figura 86: Diagrama de Piper da amostra Alfama 9.	73
Figura 87: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 10.....	74
Figura 88: Diagrama de Piper da amostra Alfama 10.	74
Figura 89: : Interior do folheto: Localização, Geologia e Hidrogeologia de Alfama.....	75
Figura 90: Interior do folheto - descrição da primeira paragem do percurso (Largo das Alcaçarias).	76
Figura 91: Interior do Folheto - descrição da segunda paragem do percurso (Beco dos Cortumes).	76
Figura 92: Interior do Folheto - descrição da terceira paragem do percurso (Chafariz d'El Rei).	77
Figura 93: Interior do folheto - descrição da quarta paragem do percurso (Museu do Fado).	77
Figura 94: Interior do folheto - descrição da quinta paragem do percurso (Chafariz de Dentro).....	78
Figura 95: Interior do Folheto - descrição da sexta paragem do percurso (Capela da nossa Senhora dos Remédios).	78
Figura 96: Interior do folheto - sétima paragem do percurso (Traseiras do Chafariz d'El Rei).	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Locais de Amostragem de águas subterrâneas em Alfama.....	28
Tabela 2: Parâmetros físico-químicos medidos in situ.	35
Tabela 3: Resultados da análise química das águas recolhidas (Aniões), concentrações em mg/L.	36
Tabela 4: Resultados da análise química das águas recolhidas (Catiões), concentrações em mg/L.....	36
Tabela 5: Classificação das águas recolhidas.	37
Tabela 6: Comparação de análise de águas recolhidas em 1941/1942 (Arquivo EPAL) e as águas recolhidas neste trabalho.	38
Tabela 7: Resultados das análises isotópicas de Oxigénio e Deutério e da condutividade elétrica nas águas amostradas em Alfama.	40
Tabela 8: Relatórios de sondagens e respectivas empresas disponibilizadas pela CML.	54

RESUMO

A Colina do Castelo, onde se inclui Alfama, é uma zona da cidade de Lisboa rica em recursos hidrológicos, frios e termais, que foram aproveitados ao longo dos tempos pelas populações e onde se encontram identificadas dezenas de estruturas de abastecimento de águas de diferentes tipologias.

No âmbito do presente trabalho caracterizam-se diferentes tipos de águas subterrâneas ocorrentes em Alfama e as suas origens, identificando os seus percursos e as estruturas de captação e adução. Especial atenção é dada às nascentes conhecidas como águas termais de Alfama. É feita uma proposta de geopercurso pelas águas de Alfama e estruturas associadas, bem como uma descrição cuidada de cada emergência, contribuindo para o conhecimento hidrogeológico, histórico e cultural da Colina do Castelo.

A metodologia utilizada ao longo deste trabalho consistiu na recolha de informação sobre os recursos hídricos, inventariação dos pontos de água subterrânea e estruturas associadas. Através da análise de *logs* de sondagens geotécnicas e dos registos do nível piezométrico foram identificadas as formações mais permeáveis e definido o sentido de fluxo subterrâneo nos sistemas aquíferos identificados. Foi realizada amostragem para identificação da atual composição físico-química e da composição isotópica das águas subterrâneas de Alfama, nomeadamente das águas termais.

As águas amostradas apresentam condutividade elétrica entre 641,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1 648 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com pH variando de 6,75 a 8,40 e temperatura entre 18,4 °C e 21,2 °C. As águas identificadas como antigas nascentes termais têm atualmente temperatura inferior a 21,2 °C, mais baixa do que o intervalo de temperaturas de 24 °C a 34 °C apontado por diversos autores, por se encontrarem misturadas com outras águas subsuperficiais. As águas amostradas apresentam fácies cloretada a bicarbonatada, com algum sulfato, e de sódica a cálcica. A composição em isótopos estáveis reflete origem meteórica distinguindo-se apenas a água da cisterna no Museu do Fado que reflete forte enriquecimento em isótopos pesados.

As águas amostradas não apresentam qualidade para serem utilizadas para consumo humano, dada a sua forte mineralização e a sua contaminação por nitratos. No entanto, as menos mineralizadas podem ser utilizadas para outros fins menos nobres, sendo assim possível a sua reutilização. Embora com menor temperatura na emergência, as nascentes conhecidas como termais podem, em profundidade, corresponder a um recurso hidrotermal, hidromineral e geotérmico importante.

O geopercurso proposto pelas águas de Alfama e estruturas associadas, na forma de um folheto intitulado “*Percursos de água em Alfama*”, passa por sítios de grande interesse hidrogeológico, histórico e cultural, tais como o Chafariz d’El Rei, o Chafariz de Dentro, o Poço da Capela de N. Sra. dos Remédios e atual Museu do Fado.

Palavras-chave: Lisboa, Alfama, nascentes, águas termais, recursos hidrológicos.

ABSTRACT

Colina do Castelo, which includes Alfama, is an area of the city of Lisbon rich in hydrological, cold and thermal resources, which have been used over time by the populations and where dozens of water supply structures of different typologies are identified.

Within the scope of this work, different types of groundwater occurring in Alfama and their origins are characterized, identifying their paths and the structures of capture and adduction. Special attention is given to the springs known as Alfama thermal waters. A proposal for a geopercourse through the Alfama waters and associated structures is made, as well as a careful description of each emergence, contributing to the hydrogeological, historical and cultural knowledge of Colina do Castelo.

The methodology used throughout this work consisted of collecting information on water resources, inventorying groundwater points and associated structures. Through the analysis of geotechnical survey logs and piezometric level records, the most permeable formations were identified and the direction of underground flow in the identified aquifer systems was defined. Sampling was carried out to identify the current physico-chemical composition and the isotopic composition of the groundwater in Alfama, namely the thermal waters.

The sampled waters have electrical conductivity between 641,8 $\mu\text{S} / \text{cm}$ and 1 648 $\mu\text{S} / \text{cm}$, with pH ranging from 6,75 to 8.40 and temperature between 18,4 °C and 21,2 °C. The waters identified as former thermal springs currently have a temperature below 21,2 °C, lower than the temperature range of 24 °C to 34 °C pointed out by several authors, because they are mixed with other subsurface waters. The sampled waters present chlorinated to bicarbonated facies, with some sulfate, and from sodium to calcium. The composition in stable isotopes reflects meteoric origin, distinguishing only the water from the cistern at the Fado Museum, which reflects strong enrichment in heavy isotopes.

The sampled waters haven't quality to be used for human consumption, given their strong mineralization and their contamination by nitrates. However, the less mineralized ones can be used for other less noble purposes, making it possible to reuse them. Although with lower temperature in the emergence, the springs known as thermals can, in depth, correspond to an important hydrothermal, hydromineral and geothermal resource.

The geoheritage itinerary proposed by the Alfama waters and associated structures, in the form of a leaflet entitled "*Percursos da água em Alfama*", passes through places of great hydrogeological, historical and cultural interest, such as the Chafariz d'El Rei, the Chafariz de Dentro, the Chapel Well of N. Sra. dos Remédios and current Fado Museum.

Key-words: Lisbon, Alfama, headwater, thermal waters, hydrologic resource.

1. INTRODUÇÃO

As regiões costeiras são zonas muito produtivas e ricas em recursos naturais que fornecem tanto recursos hídricos e alimentares como permitem a chegada e a partida de materiais vindos de todo o mundo por via fluvial/marítima (Ferreira, 2004). Assim, desde sempre que as grandes cidades se instalaram em locais de proximidade de rios e mares, tornando-os locais de concentração populacional (PNCT, 2016).

A cidade de Lisboa não é exceção, situa-se na foz do Rio Tejo e nas proximidades do Oceano Atlântico, os quais constituem recursos importantes no seu desenvolvimento enquanto cidade e também no desenvolvimento da sua população.

Alfama, situada no centro de Lisboa e junto ao Rio Tejo, foi desde sempre ocupada com atividades ligadas à água e à sua utilização. A ocorrência de águas subterrâneas frias e termais, terá também contribuído para tornar a região de Lisboa propícia para a ocupação humana.

A existência das águas de Alfama é conhecida pelo menos desde o tempo dos árabes, sendo aceite, atualmente, que a palavra Alfama tem origem no termo *Alhama*, que significa fonte quente. A história das águas de Alfama mostra-nos que o seu aproveitamento trouxe muitos benefícios para as populações, seja as virtudes terapêuticas que se afirmava estas águas terem, assim como as atividades ligadas à água (Ramalho e Lourenço, 2006a).

Este projeto de investigação tem como objetivo caracterizar os diferentes tipos de águas subterrâneas associadas à zona da Colina do Castelo (Alfama) separando, nomeadamente, águas frias de águas termais e identificar os percursos subterrâneos e as estruturas de captação e adução das diferentes águas.

O estudo tem ainda como principal objetivo propor percursos pedestres pelas águas de Alfama e estruturas associadas e contribuir para o conhecimento hidrológico e cultural da Colina do Castelo.

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

A área em estudo encontra-se representada na Carta de Portugal na escala 1: 10 000 e na Carta militar de Portugal na escala 1:25 000, do Instituto Geográfico do Exército.

Alfama, um dos bairros mais típicos da cidade de Lisboa, pertencente à freguesia de Santa Maria Maior, distrito de Lisboa, Portugal continental (Figura 1).

É uma zona urbana, muito e densamente ocupada, quer à superfície, quer em profundidade, o que conduz à impermeabilização da quase totalidade da sua área.



Figura 1: Localização da área em estudo sobre imagens Google Earth.

3. EVOLUÇÃO DA CIDADE DE LISBOA

3.1 Ocupação e Construção

De acordo com os vestígios encontrados em intervenções arqueológicas, nomeadamente sob os claustros da Sé de Lisboa, os primórdios da cidade de Lisboa são atribuídos aos Fenícios. Esta ocupação terá ocorrido a partir de meados do século VII a.C., através de pequenos núcleos habitacionais dispersos (Ferreira, 2004).

A cidade de Lisboa terá nascido de ruínas de antigas povoações romanas ou pré-romanas da Península Ibérica (citânia) localizadas a norte do atual castelo de S. Jorge. Este seria um dos muitos núcleos humanos desenvolvidos no período pré-histórico. Foi atribuída a classificação de “município”, dado o elevado desenvolvimento económico e social potenciado pela ação povoadora dos romanos (195 a.C.) (Link 1).

Em Latim *Oppidum* era o termo utilizado para a principal povoação em qualquer área administrativa do Império romano. A cidade de Lisboa, local onde os romanos centraram a sua defesa estratégica, tinha características de *oppidum*. Estas características resultam do modelado do terreno (as sete colinas da cidade), por um lado, e a proteção natural dada pelo estuário do Tejo e do seu braço que se desenvolvia a ocidente e penetrava no território (Figura 2) (Link 1). A cidade apresentava vários equipamentos urbanos, nomeadamente monumentos, teatros e termas e era nesta citânia que se cruzavam quatro estradas da rede viária romana (três para Mérida e uma para Bracara, que hoje se designa Braga) (Link 1).

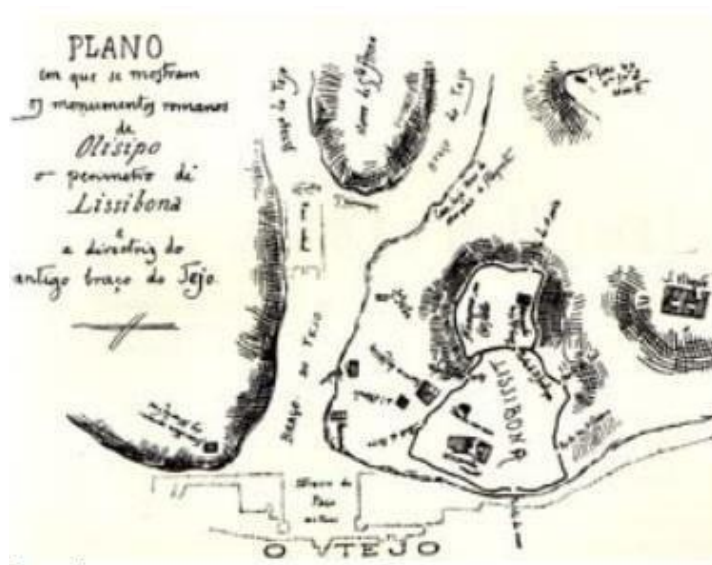


Figura 2: Planta de Lisboa Romana (Imagem retirada de Link 1).

A cidade de Lisboa começou por se designar *Olisipo* e tinha um núcleo de população fixa defendida pela soldadesca (exército), nos seus arrabaldes foram-se agregando um bom número de famílias cultivadoras da terra que, em troca de pão, fruta, vinho, legumes e gado recebiam proteção e defesa (Link 1).

Vários são os fatores que levaram ao estabelecimento dos Romanos nesta região e ao desenvolvimento de *Olisipo*, nomeadamente o carácter comercial e industrial desta zona, no qual

o rio apresenta um papel fundamental. A presença de água era um dos principais fatores tidos em conta pelos agrimensores romanos no momento de erguer as cidades (Pérez, 2019).

A zona ribeirinha de Alfama, dada a sua proximidade ao rio e a sua localização abrigada na Encosta do Castelo, constituía um local preferencial para a instalação de atividades ligadas à dinâmica ribeirinha, em especial à produção de produtos piscícolas. Em intervenções arqueológicas em 1981-82, na Casa do Bicos (Figura 3), foi possível identificar uma estrutura pertencente a uma unidade fabril de salga de peixe (Figura 4). Estão ainda identificadas outras quatro unidades fabris, duas na Rua Augusta e duas na Rua dos Fanqueiros (Ferreira, 2004). Encontra-se também identificado neste local um troço da muralha romana, com 18 metros de extensão.



Figura 3: Casa dos Bicos, Lisboa (Imagem retirada da Fundação José Saramago).



Figura 4: Estrutura fabril de salga de peixe (Imagem retirada da Fundação José Saramago).

A descoberta das Termas dos Cássios (Figura 5) e de estruturas que se pensa pertencerem a termas privativas constitui um indício de que, durante o período Romano, haveria em Alfama núcleos de aproveitamento de águas termais que ascendiam naturalmente nesta zona (Ferreira, 2004).

A crise do séc. III, que fragilizou toda a sociedade romana, teve os seus reflexos em toda a Península Ibérica. Este clima de insegurança e guerra levou a que a cidade adquirisse uma feição

peculiar, nomeadamente a construção de uma fortaleza onde se refugiaram os habitantes fugidos do avanço de outros exércitos cristãos. A população de ricos proprietários agrícolas e comerciantes, transferiu-se para o interior das muralhas e construiu uma cidade opulentíssima.



Figura 5: Termas dos Cássios (Imagem retirada do Link 9).

No período da reconquista Cristã, a cidade muçulmana é uma cidade cobiçada e várias vezes atacada e ocupada pelos exércitos cristãos, nomeadamente ocupada por Castela em 1000 d.C. (Link 1).

Lisboa é, então, uma cidade desenvolvida e tornada no mais opulento centro comercial de toda a África e de uma grande parte da Europa. É rica em todas as mercadorias, tem ouro e prata. Tem ferreiros e não há incultos. Os seus campos são bons para toda e qualquer cultura, os ares são saudáveis e há banhos quentes. O alto do monte é limitado por uma muralha circular e os muros da cidade descem pela encosta, à direita e à esquerda, até à margem do Tejo (Link 1).

Em 1147, D. Afonso Henriques, primeiro Rei de Portugal, conquistou a cidade. Lisboa expandiu-se para lá das suas muralhas devido à participação cristã. Herdados do passado há então dois arrabaldes, a Baixa e Alfama. O braço do rio Tejo desaparece definitivamente no séc. XIII (Link 1).

Em 1373-75, D. Fernando perante as ameaças de Castela cria uma muralha (Figura 6) de defesa designada por “Cerca Nova” (Link 1).



Figura 6: Lisboa delimitada pela Muralha Fernandina, designada à data por “Cerca Nova” (Imagem retirada de Link 1).

A fixação definitiva da capital do reino, e, portanto, da corte, dá-se no reinado de D. Afonso III. Dos 16 ha de área ocupada no período mourisco, a nova cidade passa para 101,65 ha

(6,5 vezes maior). Lisboa era, na altura, o núcleo de um importante sistema económico de trocas, nomeadamente os mercados centrais da Praça da Figueira e da Praça da Ribeira (Link 1).

A primeira urbanização foi criada em 1400, por D. João I, na colina do Carmo, com o objetivo de satisfazer as necessidades de uma população sempre crescente, expropriando para tal os campos. Em 1500, a corte do D. Manuel I abandona o castelo e fixa-se no Paço Real no Terreiro do Paço (Figura 7), onde se centrava toda a vida comercial da cidade.

No Bairro Alto surge o primeiro loteamento (renascentista) que transforma hortas e pomares em ruas e casarios, crescendo rapidamente como bairro popular. O Bairro Alto marca a passagem do séc. XVI para XVII na vida urbana de Lisboa e na aquisição de uma consciência urbanística e arquitetónica (Link 1).



Figura 7: Terreiro do Paço em 1500 (Imagem retirada de Link 1).

O terramoto de 1755 marcou muito a cidade de Lisboa, pela destruição que provocou e pelo enorme desenvolvimento que lhe sucedeu. O terramoto e o incêndio e tsunami que lhe sucederam, devastaram dois terços da totalidade dos arruamentos e terão destruído muitas casas (Figura 8). Afetou toda a zona da Baixa, os bairros do Castelo e a zona do Carmo, ou seja, as zonas mais intensamente urbanizadas da cidade (Link 1).

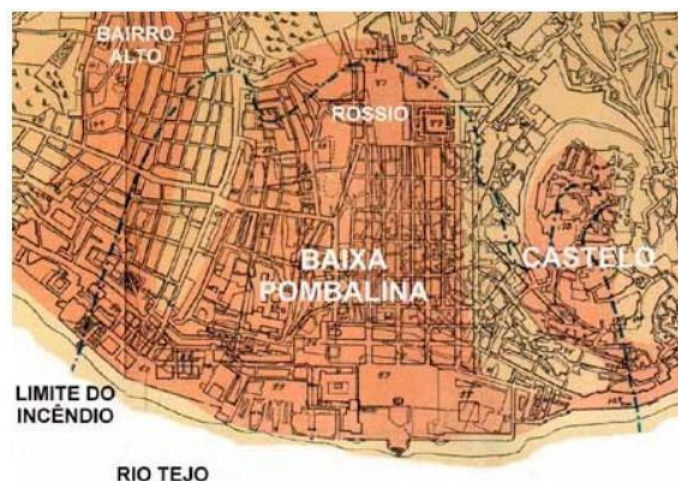


Figura 8: Limite do incêndio pós-terramoto 1755, onde se observa o limite de destruição na cidade (imagem retirada do Link 1).

A recuperação da cidade trouxe a Lisboa Pombalina, com um urbanismo sujeito a regras fixas e de um cientismo pragmático que provocava admiração em todo o mundo. O seu principal impulsionador foi o Marquês de Pombal, o Primeiro Ministro do Rei D. José, coadjuvado pelos arquitetos e engenheiros, Manuel da Maia, Eugénio dos Santos e Carlos Mardel (1755-56). O plano baseava-se numa direção planificada de ruas alinhadas cujas opções arquitetónicas assentavam em regulamentos de construção contemplando todos os conceitos básicos de resistência às ações sísmicas.

Após a vitória do Liberalismo, e desde o termo da administração pombalina, a grandiosidade arquitetónica acompanha os edifícios públicos. Os limites da cidade são sucessivamente alargados sempre em “círculos” com centro na zona da Baixa.

Constroem-se, nesta altura grande edifícios, teatros, jardins e surge um novo espírito de renovação e novos ideais estéticos. Um novo eixo de desenvolvimento seguir-se-ia à Avenida da Liberdade. A abertura da Rua Fontes Pereira de Melo que levou à expansão da cidade desde o Parque da Liberdade (hoje Parque Eduardo VII) até ao Campo Grande e toda a planificação das ruas adjacentes, paralelas e perpendiculares (Link 1).

Depois da 1ª Guerra Mundial, preenchem-se as malhas vazias resultantes dos traçados dos eixos das novas avenidas. É o período Duarte Pacheco no qual se constroem novos bairros, no qual se cria o parque verde em Monsanto e se liga, por autoestrada, Lisboa ao Estádio Nacional. São criados bairros e é a época dos grandes blocos residenciais livres (Link 1).

3.2 Abastecimento de Água

A evolução ao longo dos tempos levou a uma mudança muito grande na cidade de Lisboa. Esta mudança teve de ser acompanhada por uma satisfação das necessidades da cidade e da população, nomeadamente no que diz respeito ao abastecimento de águas.

Os habitantes de Lisboa abasteciam-se de poços, ribeiras e cisternas localizadas essencialmente, nas partes altas da cidade (no Cerro do Castelo). Abasteciam-se ainda de nascentes situadas no sopé daquele monte, não longe da ribeira do Tejo. Destas nascentes ainda hoje restam algumas, entre as quais merecem menção honrosa, pelo volume e qualidade de águas, tradição histórica e fábrica monumental, as águas que abasteciam o chafariz d’El Rei ou de S. João da Praça, localizados em Alfama (Ribeiro, 1978).

Quando Lisboa foi conquistada por D. Afonso Henriques a sua população oscilava entre 14 000 e 15 000 habitantes, que se abasteciam das águas orientais (região de Alfama) (Ribeiro, 1978). Com o aumento da população a água que abastecia a cidade não era suficiente para todos.

Foram vários os reis que tentaram solucionar o problema de abastecimento de águas à cidade de Lisboa, D. Manuel, para trazer à capital a água necessária, mandou elaborar o projeto de um chafariz monumental no Rossio: «devia ser uma mulher simbolizando a cidade de Lisboa, em pé numa coluna, guardada por quatro elefantes, de cujas trombas verteriam jorros de água» (Ribeiro, 1978).

Nos reinados de D. João III e de D. Sebastião também ocorreram várias tentativas de levar as águas até à cidade (Ribeiro, 1978). Foi D. Sebastião que realizou as primeiras experiências de quantidade de águas que a fonte de água-livre (a três quilómetros da povoação de Belas) podia ter, não tendo concretizado o projeto.

Na era dos Felipes continuaram-se as provas de medições da nascente da Água-Livre, ficando este mais uma vez sem resolução final.

A população da cidade continuou a abastecer-se do chafariz d'El Rei, em Alfama, de alguns fontanários públicos (de onde brotavam quantidades insignificantes de águas superficiais não potáveis) e de alguns poços e cisternas pertencentes a particulares. A cidade contava com cerca de 80 000 habitantes e apenas 560 m³ de água, correspondendo assim a 7 litros por habitante (Ribeiro, 1978).

A população continuou a aumentar e a falta de água intensificou-se, sucedendo-se mortes, brigas, desavenças públicas, furtos de água, ao ponto de se regular a distribuição da água como ocorreu com o chafariz d'El Rei.

No reinado de D. João IV a água chegou ao Terreiro do Paço através das obras contratadas no reinado anterior, querendo D. João que a fonte ou chafariz se fizesse para embelezar a praça. Chegou o reinado de D. Pedro II, ainda sem resolução quanto ao abastecimento de águas a Lisboa (CFOAACL, 1941).

Foi no reinado de D. João V que, por alvará régio de 12 de Maio de 1731, se iniciou a construção do aqueduto das Águas-Livres, que tem nascente em Belas, onde acolhe as águas da fonte e do ribeira chamado das Águas-livres, atravessa o vale de Alcântara e termina na Mãe de Água das Amoreiras. O percurso geral do aqueduto é o indicado por Turriano, mestre de obras do rei, mas os projetos e direção das obras foram confiados ao Brigadeiro Manuel da Maia, que delas se encarregou até ao Monte das Três Cruzes (Alto da Serafina, Serra do Monsanto) e ao Sargento-Mor Custódio Vieira, que o completou até Lisboa (CFOAACL, 1941).

Na época, apenas se exploravam as águas altas que podiam ser conduzidas pela ação da gravidade. A escolha do traçado foi subordinada à diferença de nível entre os pontos de chegada e partida, uma diferença que não podia ser tão insignificante que tornasse a corrente vagarosa (facilitando a formação de depósitos que a obstruíam) nem demasiado acentuada (porque, intensificando a corrente, daria origem à degradação dos materiais de construção e produziria o desgaste e ruínas (Ribeiro, 1978).

A obra, que ocorreu entre 1731 e 1799, implicou o recurso às nascentes de água das Águas Livres integradas na bacia hidrográfica da serra de Sintra, na zona de Belas, a noroeste de Lisboa. O sistema é composto por: um troço principal, de 14 km de extensão, com início na Mãe de Água Velha, em Belas, e final no reservatório da Mãe de Água das Amoreiras, em Lisboa; por vários troços secundários destinados a transportar a água de cerca de 60 nascentes; e por cinco galerias para abastecimento de cerca de 30 chafarizes da capital (Link 2).

Uma parte das fontes provém do primeiro andar de conglomerados dos arredores da Porcalhota ou do complexo vulcânico de Lisboa que aflora entre os terrenos cretácicos de Lisboa e Monsanto, a sul, e de Belas e Caneças, a norte. Todas as outras nascentes tributárias do aqueduto têm por bacia de alimentação as formações cretácicas, constituídas por três andares de rochas calcário-margosas alterando com duas outras de arenito e areias grosseiras (Ribeiro, 1978).

O Aqueduto das Águas Livres, dentro e fora de Lisboa, atingiu cerca de 58 135 metros de extensão em meados do século XIX (Link 2). O Aqueduto Geral tinha de extensão 14 256 metros desde a Mãe-de-Água velha (nascente das Águas Livres) até à Casa de Água das Amoreiras e os ramais mais importantes tinham a extensão de 44 031 metros (Mendonça, 2018).

A distribuição da água do aqueduto era feita na cidade por galerias de encanamento livre (sem pressão). As galerias dentro da cidade medem cerca de 11 802 metros e podem ser visitadas e percorridas a pé, embora tenham medidas mais pequenas que o aqueduto geral.

A primeira, chamada galeria do Campo de Sant'Ana, sai pelas alturas do Carvalhão e abastecia os chafarizes de S. Sebastião da Pedreira, Entrecampos, Cruz do Taboado, Campo de Sant'Ana, Intendente e Socorro. Pouco antes das Amoreiras destaca-se a segunda galeria, conhecida pela Galeria das Necessidades, que fornecia águas aos chafarizes de Campo de Ourique, Estrela, Praça das Armas, Terras e Janelas Verdes. Das Amoreiras aparta-se a galeria do Loreto, por onde correm as águas que iam aos chafarizes do Rato, S. Pedro de Alcântara, S. Paulo e Loreto, findando no Largo de S. Carlos. Desta galeria parte, no Rato, um ramal, Galeria da Esperança, que passa na Rua de S. Bento, o qual abastecia os chafarizes do Arco, Praça das Flores e Largo da Esperança. Da galeria do Loreto ainda rompem na antiga praça do Príncipe Real mais dois ramais que alimentavam os chafarizes da Cotovia e da Rua Formosa. Uma terceira derivação, feita no Largo da Trindade, levava água ao chafariz do Carmo (CFOAACL, 1941).

Importante salientar que as águas distribuídas pelo aqueduto eram destinadas à parte alta e ocidental da cidade, pois na parte oriental bastavam as nascentes intramuros conhecidas pelas águas orientais.

O Aqueduto das Águas Livres (Figura 9) deixou de abastecer Lisboa a partir de 1967 (Mendonça, 2018).



Figura 9: Aqueduto das Águas Livres, zona do Vale de Alcântara; (Imagem retirada do Link 4).

Em 1845 surgiu a ideia da distribuição de água por canos aos domicílios da cidade, que incluía, também, a captação de novas provisões fora de Lisboa, uma vez que a captação das Águas Livres já não seria o suficiente para toda a população de Lisboa.

Foi então celebrado, em 1858, o contrato com a primeira Companhia de Águas (Companhia da Empresa das Águas de Lisboa) que se comprometia a abastecer a cidade de Lisboa com 10 656 000 litros diários, aumentando a quantidade até 70 litros por habitante (CFOAACL,

1941). Esta companhia foi incapaz de realizar o prometido tendo acabado por perder a concessão. Foi então fundada, em 1868, a Companhia de Águas de Lisboa (CAL) (Carvalho, 2008).

De forma a dar resposta à maior necessidade de água a Lisboa, foi construído, entre 1871 e 1880, um novo aqueduto, o Aqueduto do Alviela preparado para o transporte gravítico da água captada nas nascentes dos Olhos de Água do rio Alviela, que se encontram a 64 m de altitude ea 114 km a norte de Lisboa (Mendonça, 2018).

A Companhia de Águas de Lisboa viria a ser convertida na EPAL – Empresa Portuguesa de Águas Livres. Sendo esta, nos dias de hoje, responsável pelo abastecimento de águas à cidade de Lisboa, tratando da sua produção, tratamento e abastecimento (Link 3). De entre as origens da água da EPAL incluem-se três núcleos de captação em calcários carsificados da orla ocidental: a nascente do Alviela que é uma saída natural do sistema aquífero Maciço Calcário Estremenho e os campos de furos da Ota e de Alenquer (substituindo as nascentes cársicas locais) (Mendonça, 2018).

O sistema de produção da EPAL divide-se ainda em três subsistemas:

- O subsistema do Alviela, constituído pelo aqueduto do Alviela, faz a adução a Lisboa da água captada nas nascentes do rio Alviela, que chega por gravidade a Lisboa através do Reservatório dos Barbadinhos. Faz várias ligações para fornecimento de água a outros concelhos como Torres Vedras, Mafra, Arruda dos Vinhos e Sobral de Monte Agraço (Link 3);

- O subsistema do Tejo, constituído pela captação superficial de Valada – Tejo, pela estação de tratamento de Vale da Pedra e pelo aqueduto do Tejo que transporta a água para Lisboa. No seu percurso existem diversas ligações para o fornecimento de água aos concelhos de Azambuja, Vila Franca de Xira e Loures (Link 3);

- O subsistema de Castelo de Bode, constituído pela torre de captação na albufeira da barragem que permite captar um milhão de m³ por dia, pelo túnel de ligação e estação elevatória que eleva as águas até à estação de tratamentos da Asseiceira e por fim pelo adutor de Castelo de Bode, que transporta a água até Vila Franca de Xira (Link 3).

Em 1985, do total de água que abastecia Lisboa 51% correspondia ao conjunto da água subterrânea (nascentes e furos) e os outros 49% vinham da captação no rio Tejo em Valada do Ribatejo (Mendonça, 2018).

A entrada em funcionamento do subsistema de Castelo de Bode em 1987 reduziu progressivamente a importância das águas subterrâneas como origem do sistema de abastecimento da EPAL, privilegiando assim as origens de águas superficiais (Castelo de Bode e Valada do Tejo) (Mendonça, 2018).

Atualmente, a água é transportada das origens através do Aqueduto do Alviela, do Aqueduto do Tejo e do adutor de Castelo de Bode (Mendonça, 2018).

O sistema de abastecimento é constituído pelas captações de água, estações de tratamento de água (ETA), adutores e toda a rede de distribuição do concelho de Lisboa. A EPAL fornece ainda água a mais 24 concelhos abastecendo mais de 2 milhões de consumidores (Link 3).

O modelo de abastecimento de água a Lisboa apresenta, hoje, muitas vantagens, mas também algumas desvantagens, nomeadamente a vulnerabilidade associada a acidentes ou conflitos nucleares, às alterações climáticas e a situações de catástrofe grave (terramoto, conflito militar interno e/ou externo) que levem à degradação da qualidade da água superficial para além

dos limites toleráveis para o consumo humano ou então que impossibilite a chegada do abastecimento de água a Lisboa (Mendonça, 2018).

3.3 Estruturas de Abastecimento

Na área em estudo encontram-se identificadas algumas dezenas de estruturas de abastecimento de águas. Com base num mapa fornecido pela Câmara Municipal de Lisboa, com as diferentes tipologias de estruturas existentes na Colina do Castelo, destacam-se as seguintes tipologias: bica, caneiro, chafariz, cisterna, estrutura mista, fonte, mina, nascente, poço, tanque e termas.

Estas estruturas de abastecimento são muito variadas e têm diferentes fins. Uma parte destina-se ao armazenamento de águas frias e à reserva de águas frias, nomeadamente na zona norte e na zona central da área de estudo. Na zona sul da área de estudo uma parte considerável corresponde a nascentes e locais de armazenamento de águas mais quentes, algumas em tempo com características termais.

Recorrendo a imagem de Google Earth foi construída a Figura 10, com a localização das várias estruturas de abastecimento. No ANEXO 1 – Localização de Estruturas de Abastecimento é possível observar a localização de cada uma destas estruturas de abastecimento. No texto seguinte é feita uma breve descrição das principais estruturas de adução e abastecimento de água em Alfama.

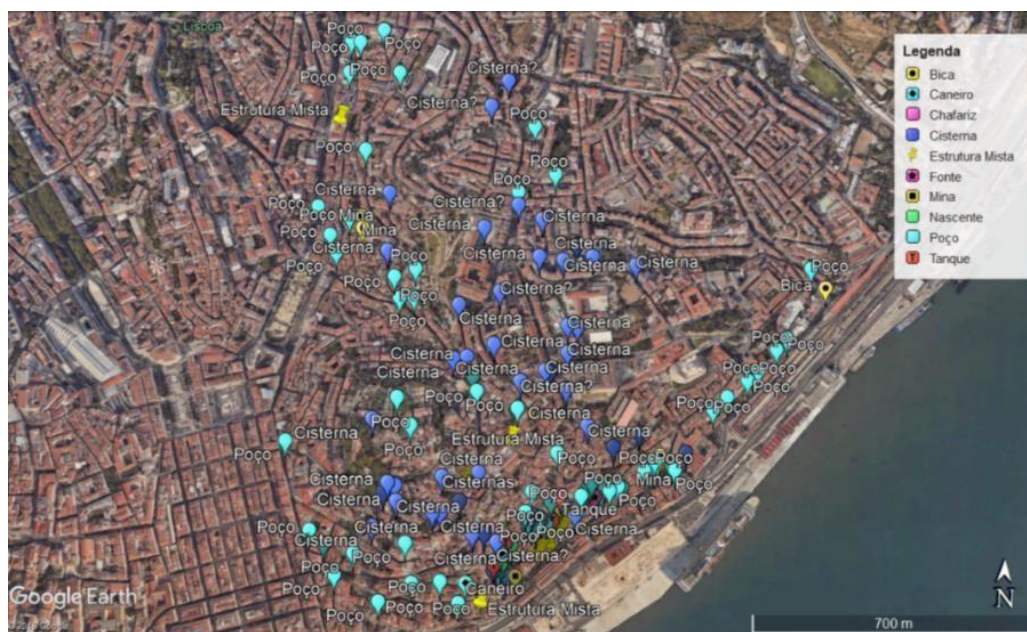


Figura 10: Estruturas de Abastecimento conhecidas na área em estudo, em Google Earth; Informação CML.

Fonte das Ratas

A Fonte das Ratas situava-se no Largo das Alcaçarias (Figura 11). Esta era um ponto importante para a população, tratando-se de uma nascente que alimentava o Tanque das Lavadeiras de Alfama e as Alcaçarias do Duque do Cadaval. Em 1963 atingia o seu auge de utilização por parte da população, seja para consumo ou para fins terapêuticos. Seria posteriormente fechada por indícios de contaminação das águas (Link 9).



Figura 11: Fonte das Ratas, localizada no Largo das Alcaçarias (retirada do Link 9).

Chafariz d'El Rei

A existência deste chafariz só é referido no Reinado de D. Afonso II. É renomeado de Chafariz d'El Rei após D. Dinis ordenar que se efetuassem alterações estruturais ao local (Link 6).

Em 1487 D. João II volta a intervir no chafariz ordenando a canalização da água até ao mar para facilitar o fornecimento de água potável aos barcos ali ancorados (Link 6).

Em 1614, devido ao enfraquecimento do caudal do chafariz, a Câmara de Lisboa teve de adquirir poços particulares à volta para garantir que a água continuava a correr. Tendo sido por várias vezes limitada a sua utilização com bicas que abasteciam separadamente homens e mulheres, escravos e senhores (Link 6).



Figura 12: Chafariz d'El Rei. Imagem retirada do Link 6.

Chafariz de Dentro

O Chafariz de Dentro (Figura 13) está localizado num pequeno largo com o mesmo nome e terá sido construído no século XIII, embora alguns autores digam que pode ter origem romana. Só se chama Chafariz de Dentro desde o século XIV (por se situar dentro da muralha fernandina), pois originalmente tinha o nome de Chafariz dos Cavalos, pelas suas bicas de bronze em forma de cabeça de cavalo. Ao longo dos séculos matou a sede da população de Alfama e dos seus animais, e até serviu de tanque para lavar a roupa (Link 7).



Figura 13: Chafariz de Dentro.

Chafariz da Praia

Desde o século XVI que existia, neste local, um fontanário designado como Chafariz de Fora (ou Chafariz da Praia) em contraponto ao Chafariz de Dentro. O seu nome deve-se ao facto de este chafariz se encontrar do lado de fora muralha fernandina.

A designação deste edifício como “Estação elevatória de Águas do Recinto da Praia” deve-se à existência de uma praia onde os navios paravam para fazer a aguada (recolha de água). Esta estação elevatória de águas começou a ser construída em 1868 e é considerada um dos mais importantes edifícios de equipamento do século XIX português pelo carácter específico da função a que se destinava. Pouco antes da sua construção tinha sido criada a Companhia das Águas de Lisboa, representando esta estação elevatória de águas uma última tentativa de aproveitar as fontes de Alfama para abastecer a zona do Bairros Orientais (Link 5).

Foi restaurado em 1622 e novamente em 1872, e ficou esquecido durante grande parte do século XX, até um novo restauro em 2017, em que voltou a jorrar água potável. Em frente fica a antiga Estação Elevatória de Águas de Alfama, um reservatório construído em 1868 para resolver o problema de falta de água na cidade. O edifício foi recuperado em 1998, ano em que abriu como Museu do Fado.

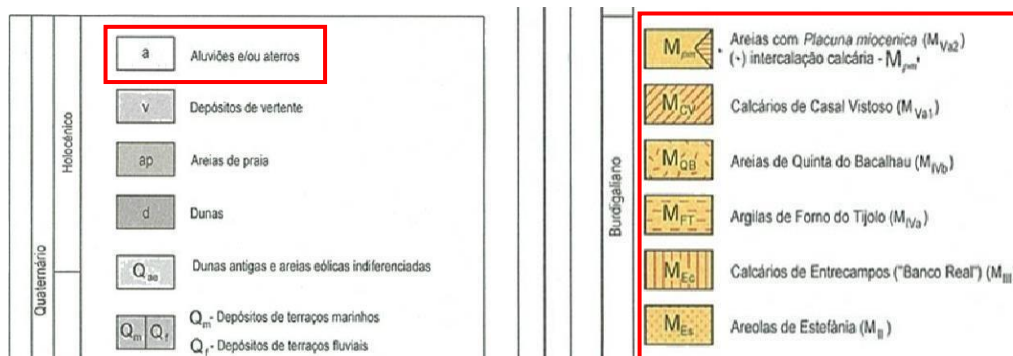


Figura 15: Legenda da Folha 34-D da Carta Geológica de Portugal 1:50 000 (Pais et al., 2006).

Alfama situa-se na Orla Meso-Cenozoica Ocidental Portuguesa, onde é possível identificar depósitos da Bacia Lusitânica e da Bacia Cenozoica do Tejo-Sado.

A Bacia Lusitânica corresponde a uma estrutura subsidente complexa, alongada na direção N-S, gerada por extensão litosférica associada à abertura do Atlântico Norte durante o Mesozoico. Desenvolveu-se em três episódios principais de *rifting*, essencialmente por uma tectónica de blocos limitados por falhas, definindo *grabens* e *demigrabens*. No Jurássico Superior deu-se um quarto episódio de *rifting*, após o que terá cessado a tectónica distensiva na Bacia Lusitânica (Pais et al., 2006). Na região de Lisboa, os depósitos da Bacia Lusitaniana estão representados por formações datadas desde o Cenomaniano.

A Bacia Cenozoica do Tejo-Sado consiste numa depressão tectónica complexa que se começou a desenvolver, entre o soco varisco e o bordo oriental da fossa Lusitaniana, a partir do início do Paleogénico, sendo o seu preenchimento sedimentar predominantemente detrítico de origem continental (Lopes, 2001).

Na área em estudo afloram diferentes formações (Figura 15) do Holocénico (Quaternário) e do Miocénico (Neogénico), que a seguir se descrevem: Aluviões e/ou aterros, Areias com *Placuna miocénica* (M_{pm}), Calcários de Casal Vistoso (M_{CV}), Areias de Quinta do Bacalhau (M_{QB}), Argilas de Forno do Tijolo (M_{FT}), Calcários de Entrecampos ("Banco Real") (M_{Ec}) e Areolas de Estefânia (M_{Es}).

Holocénico

As Aluviões e/ou aterros ocorrem ao longo das principais linhas de água de Lisboa. São depósitos que se encontram diretamente associados ao leito principal do rio Tejo e, ainda que com menor relevância, também a todas as ribeiras e linhas de água que a este afluem, na margem direita do Tejo (Pinto, 2003). Nas imediações da zona em estudo salientam-se as aluviões das Ribeiras do Vale do Pereiro e da Almirante Reis e Baixa (Pais et al., 2006).

Burdigaliano

As Areolas de Estefânia (M_{Es}) constituem uma formação representada por areias finas, areias argilosas e alguns bancos de biocalcarenitos. Afloram na base da colina do Castelo de S. Jorge (Pais et al., 2006). A sua espessura varia entre os 24 e os 36 m (Pinto, 2003).

Os Calcários de Entrecampos (“Banco Real”) (M_{Ec}) são biocalcarenitos com fração detrítica abundante, por vezes argilosos, ricos em moldes e/ou fragmentos de moluscos. Afloram em faixa estreita entre Alfama, Avenida Almirante Reis, Campo Grande e Carnide (Pais *et al.*, 2006).

A formação Argilas de Forno do Tijolo (M_{FT}) é constituída por areias finas argilosas, piritosas, de cor cinzento azulado, com moluscos, peixes e abundantes microfósseis (nanoplâncton calcário, dinoflagelados, foraminíferos, ostracodos). Correspondem à maior transgressão do Burdigaliano. As Argilas do Forno do Tijolo afloram entre o Terreiro do Trigo e a colina do Castelo de S. Jorge (Pais *et al.*, 2006).

A formação Areias de Quinta do Bacalhau (M_{QB}) é composta por depósitos progradantes, relativamente espessos (35 m), de areias arcóicas fluviais, com bancadas de argilitos correspondentes a canais e a depósitos pelíticos de planície de inundação. Os argilitos contêm impressões de vegetais. Os afloramentos estendem-se entre o Castelo de S. Jorge, Graça, Penha de França e Areeiro (Pais *et al.*, 2006).

Os Calcários de Casal Vistoso (M_{CV}) formam uma bancada carbonatada, gresosa, às vezes grosseira, muita rica em moluscos e algas rodófitas, com uma espessura de 3 a 12 m. Afloram entre Alfama e o Castelo de S. Jorge (Pais *et al.*, 2006).

A formação de Areias com *Placuna miocénica* (M_{pm}) corresponde à etapa regressiva da sequência deposicional. É composta por areias amarelas fluviais, com seixos rolados e argilas arenosas com vegetais e ostras. São frequentes impregnações de pirolisite, que lhes conferem cor negra. Seguem-se areias, em parte eólicas, associadas a finos leitos de argila, podendo corresponder a dunas litorais e a ambientes deltaicos. Afloram entre o Castelo de S. Jorge, Graça e Alto de S. João (Pais *et al.*, 2006).

4.3 Tectónica

A região de Lisboa é afetada por vários acidentes tectónicos. A Leste de Monsanto as camadas apresentam-se com atitude monoclinal inclinado suavemente para E ou SE, já a Norte esta série encontra-se suavemente dobrada em anticlinais e sinclinais aproximadamente paralelos à estrutura de Monsanto (Almeida, 1991, *in* Ferreira, 2004). Na região de Lisboa identifica-se, ainda, como direção estrutural de deformação dúctil o Monoclinial de direção aproximadamente N-S, na área E de Lisboa.

A área de estudo, a Colina do Castelo, é afetada por diversos acidentes tectónicos, estando também associada à “Zona de falha do rio Tejo”. A “Zona de falha do rio Tejo” corresponde a um sistema de falhas complexo, não sendo um único acidente disposto ao longo do rio. É constituída por segmentos de direção aproximada de NNE-SSW limitados por “saltos” com importantes deslocamentos verticais miocénico e pós-miocénicos, dos quais a falha da Azambuja pode ser a expressão aflorante à superfície (Moniz, 2010).

Na zona de Alfama ocorre um conjunto de falhas (pertencentes aos acidentes já referidos acima), com uma orientação N50°E a N60°E, que se apresenta cortado por falhas com direção N20°E e N40°E (Figura 16).

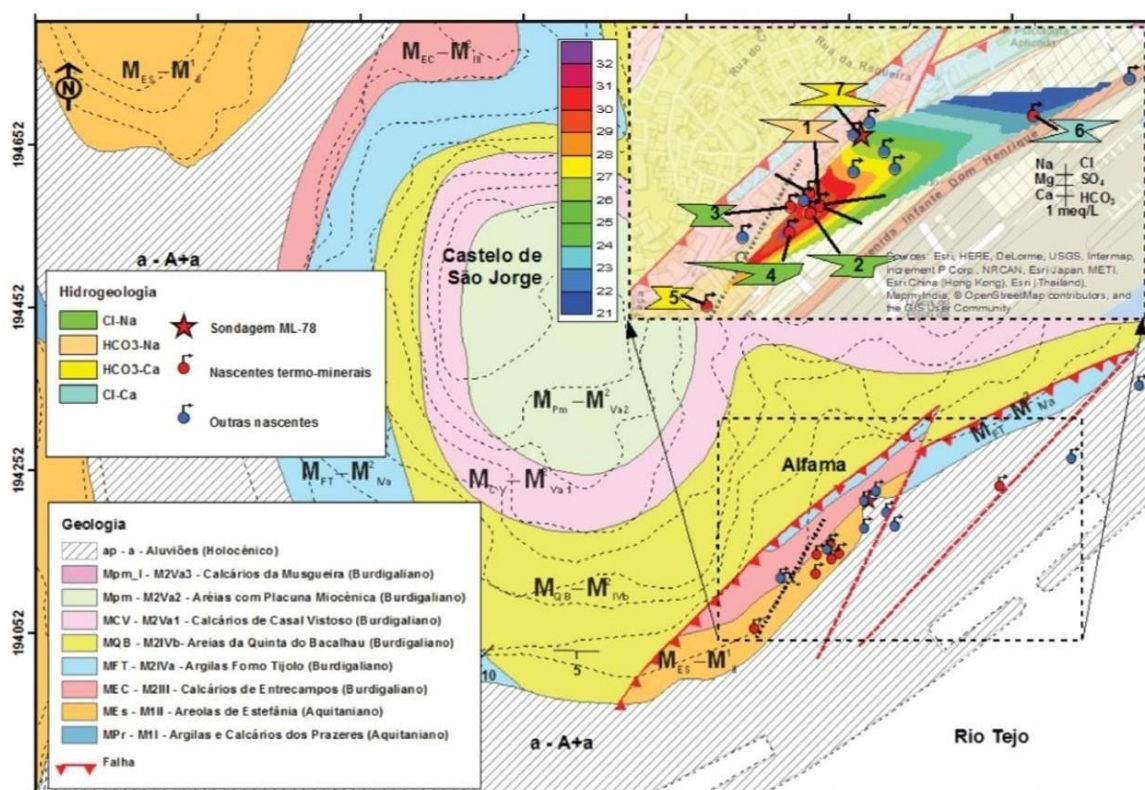


Figura 16: Esquema geológico da área do Castelo de São Jorge e Alfama LNEG (2016),; com localização histórica das nascentes termominerais de Alfama. Na ampliação da área observa-se as temperaturas das exurgências e os diagramas de Stiff, agrupados por fácies hidroquímicas (Ribeiro et al., 2017).

4.4 Hidrogeologia

4.4.1 Enquadramento da área de estudo

No que diz respeito à gestão dos recursos hídricos, a zona em estudo está enquadrada na Região Hidrográfica da Bacia do Tejo (RH5) e na unidade hidrogeológica Orla Ocidental (Figura 17).

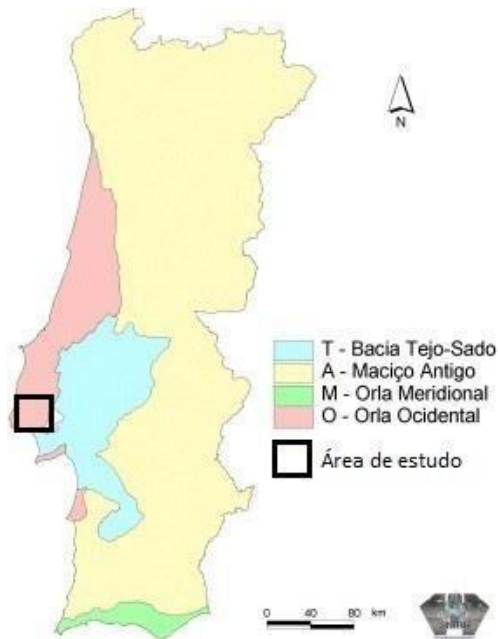


Figura 17: Unidades Hidrológicas de Portugal Continental, retirado do SNIRH.

Nesta Unidade Hidrogeológica estão delimitados alguns sistemas aquíferos, mas que não abrangem a zona em estudo, sendo esta integrada no Sistema Hidrogeológico que compreende a Massa de Água com a designação de Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (PGRH Tejo, 2011).

Segundo Ribeiro *et al.* (2017), a Orla ocidental é constituída por espessas séries de sedimentos de natureza carbonatada, arenítica e argilosa, que podem ultrapassar os 3000 m de espessura.

4.4.2 Hidrogeologia de Alfama

Na zona de Lisboa o regime hidrogeológico é influenciado pelas condições estruturais, topográficas e litológicas. A heterogeneidade litológica é responsável por diferenças de porosidade e de permeabilidade do meio. As formações detríticas desenvolvem aquíferos do tipo poroso e aquitardos, enquanto que as formações carbonatadas compactas favorecem a circulação da água através de fraturas. A estrutura geológica, a fracturação e o relevo condicionam as direções do fluxo subterrâneo e o surgimento de nascentes de água fria e termal.

O forte desenvolvimento urbano leva a que praticamente toda a cidade se encontre impermeabilizada, resultando na alteração do padrão natural de escoamento hídrico, superficial e

subterrâneo e também na alteração da quantidade e qualidade da própria água (Ribeiro *et al.*, 2017).

Estudos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos na cidade de Lisboa têm permitindo identificar formações com características aquíferas distintas a referir: formações aluvionares; formações detríticas do Miocénico; formação do Oligocénico; aquíferos associados ao complexo vulcânico de Lisboa; aquíferos desenvolvidos nas formações carbonatadas do Cretácico. Na zona de Alfama apenas afloram formações miocénicas e mais recentes e será feita aqui uma caracterização hidrológica destas formações.

A descrição hidrogeológica das diferentes formações geológicas presentes na área em estudo, que aqui é feita, teve por base a consulta de bibliografia e a interpretação de 123 *logs* de sondagens geotécnicas de 93 relatórios disponibilizados (ANEXO 2 – Relatórios de sondagens disponibilizadas pela CML).

Formações Aluvionares

No concelho de Lisboa as aluviões incluem os depósitos diretamente associados ao leito principal do Rio Tejo e a todas as ribeiras e linhas de água que neste desaguam, na sua margem direita. De modo geral, apresentam permeabilidade alta; a conexão hidráulica com o curso subaéreo do rio Tejo e a influências das marés leva a intrusões de água muito mineralizada no aquífero aluvionar, tornando a água imprópria para qualquer tipo de consumo (Ribeiro *et al.*, 2017).

Formações do Miocénico

As formações miocénicas constituem os principais aquíferos de Lisboa, formando um sistema multicamada, com níveis aquíferos intercalados por litologias de baixa permeabilidade que funcionam como aquíferos. Exemplo de formação com comportamento de aquífero é a formação de “Argilas e Calcários dos Prazeres”. Os níveis aquíferos, em geral confinados e/ou semi-confinados, estão desenvolvidos nas formações de maior permeabilidade, Areolas da Estefânia, Calcários de Entre Campos, Areias da Quinta do Bacalhau, Calcários da Musgueira, Areias com *Placuna Miocénica*, Calcários do Casal Vistoso, e Areias do Vale de Chelas (Ribeiro *et al.*, 2017). A espessura do sistema miocénico diminui de Este para Oeste (Pinto, 2003). Em seguida, refere-se o estado do conhecimento de alguns destes aquíferos e aquíferos:

- O aquífero associado a formações do Miocénico Superior apresenta permeabilidade média a alta, funcionando como um aquífero muito produtivo, do tipo confinado (Ribeiro *et al.*, 2017). Este sistema é explorado para rega; apresenta espessuras que vão de 59 m a 72 m (Pinto, 2003);

- A formação das Argilas de Xabregas (MXa) apresenta permeabilidades baixas e funciona como aquífero (Ribeiro *et al.*, 2017); apresenta cerca de 18 m de espessura (Pinto, 2003);

- O Complexo Calco-arenítico miocénico tem comportamento hidrogeológico típico de aquífero, com permeabilidade média a alta e produtividade média a alta (Ribeiro *et al.*, 2017); caracteriza-se por espessuras que variam entre 95 m e 107 m (Pinto, 2003);

- A Formação das Argilas de Forno do Tijolo tem baixa permeabilidade e comportamento de aquitardo, com espessura aproximada de 19 m (Ribeiro *et al.*, 2017).

- O Complexo Miocénico Inferior, na parte superior é constituído por uma alternância de calcário margoso; na parte inferior apresenta na sua maioria areias finas, siltosas, micáceas (areolas), argilas silto-arenosas e arenitos mais ou menos consolidados (Ribeiro *et al.*, 2017); comporta-se como um aquífero, com espessura que varia entre 36 e 53 m, com permeabilidade média a alta e produtividades também médias a altas (Pinto, 2003);

- A formação Argilas dos Prazeres, caracterizada pela ocorrência de argilitos siltosos e margosos, margas e calcários, funciona como um aquitardo, com permeabilidades baixas e espessura total da ordem de 30 m a 35 m (Pinto, 2003).

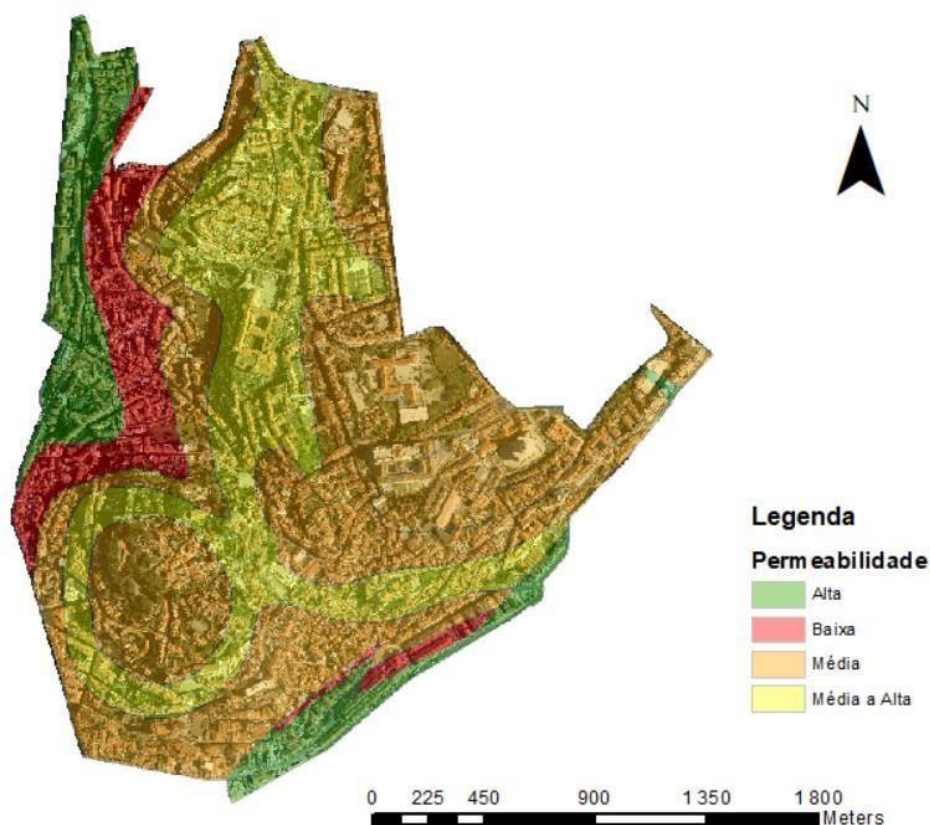


Figura 18: Graus de permeabilidade da área de estudo.

As áreas de infiltração máxima são definidas como áreas onde a infiltração é favorecida pela elevada permeabilidade do meio, contribuindo assim para a alimentação de massas de água subterrânea. As zonas mais propícias à infiltração de água, na nossa zona de estudo, são as formações Aluvionares, as formações dos Calcários de Entrecampos, a formação das Areolas de Estefânia e a formação dos Calcários de Casal Vistoso (Ribeiro *et al.*, 2017).

As nascentes de água fria aparecem por contacto geológico, localizam-se em zonas onde se verifica a ocorrência de uma barreira hidrogeológica conjugada com o declive natural do terreno. A partir do momento em que o percurso de água se cruza com um substrato impermeável

acaba por aflorar à superfície e dar origem a uma nascente (PDM, 1994).

As águas termais emergem na zona sul de Alfama, junto às formações miocénicas, mas têm sido associadas, por vários autores, a aquíferos em profundidade desenvolvidos em formações do Cretácico (Ferreira, 2004).

4.4.3 As nascentes termais e minerais de Alfama

As águas termais e minerais emergentes em Alfama são conhecidas há vários séculos pelos habitantes de cidade. Apresentam temperaturas acima dos 20 °C e mineralização muito elevada. Ocorrem num alinhamento entre o Chafariz d'El Rei e a Bica do Sapato. A sua localização e designação está representada na Figura 19.

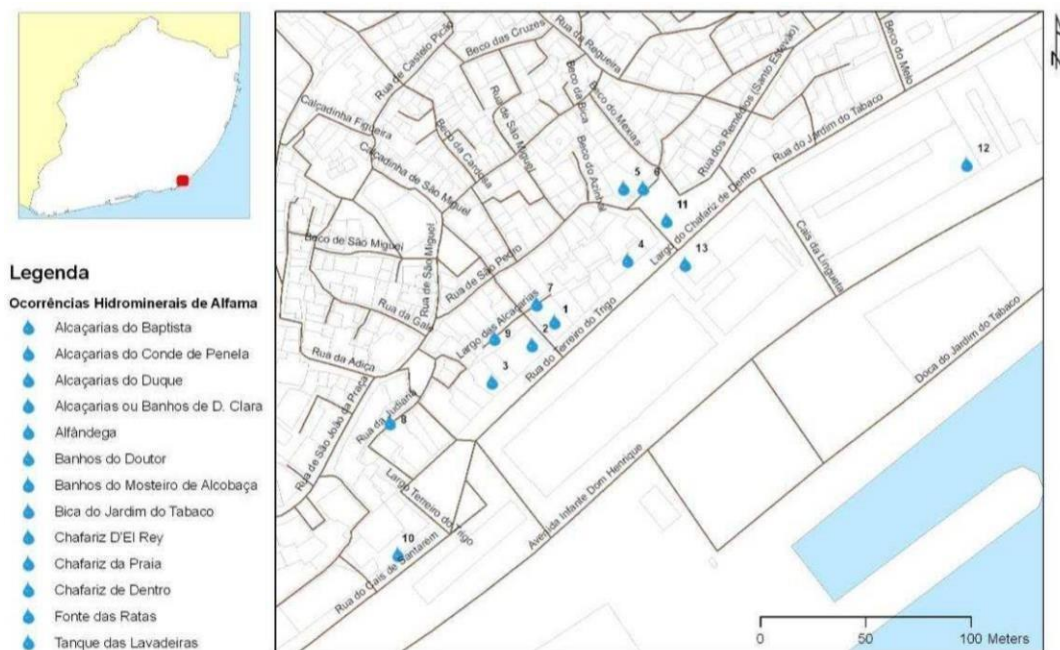


Figura 19: Localização das ocorrências hidrotermais de Alfama, (C.M.L., 2010).

As nascentes parecem estar alinhadas ao longo do contacto entre o Complexo das Areolas da Estefânia (Burgaliano) e o Complexo do Banco Real, do Miocénico, em estreita associação com falhas de direção aproximada NE-SW, representadas no esquema geológico de Moitinho de Almeida (1972) na Figura 20.

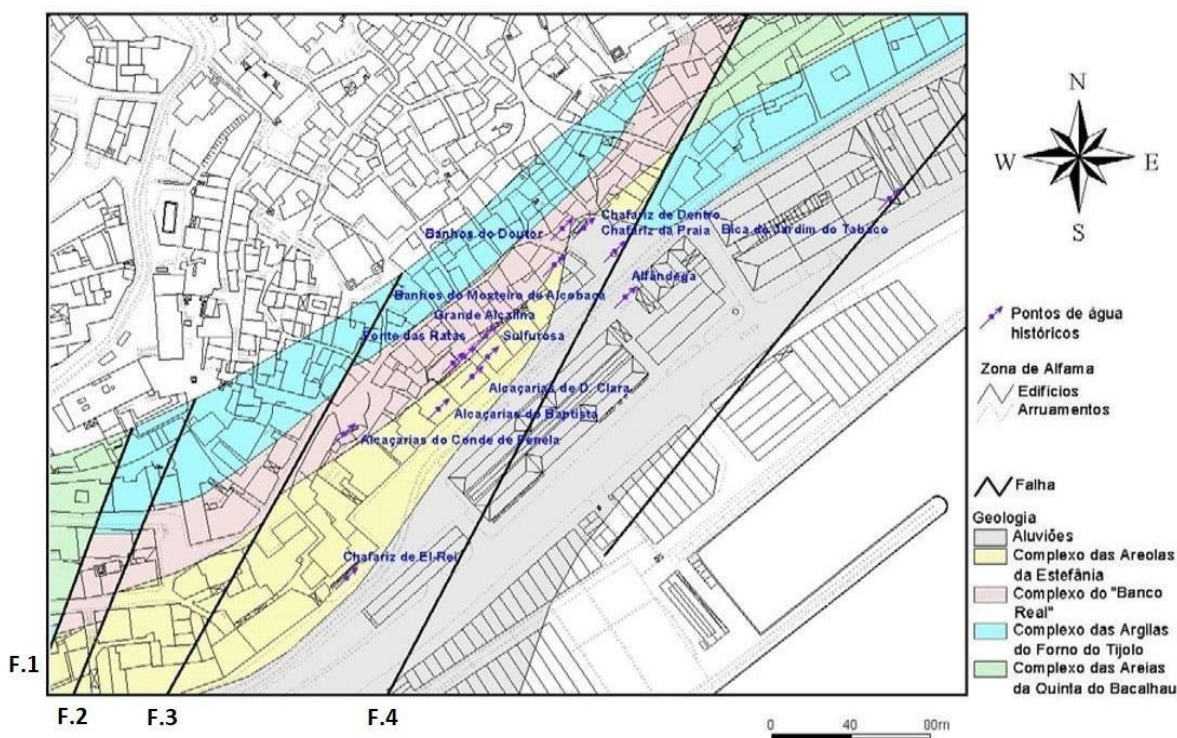


Figura 20: Esquema Geológico da zona das nascentes de Alfama (Moitinho de Almeida, 1972).

O perfil geológico interpretativo da zona das nascentes de Alfama (Figura 21), apresentado por Moitinho de Almeida (1972) mostra três troços estruturalmente distintos. No troço onde ocorrem as nascentes (central), o bloco entre falhas encontra-se elevado em relação aos blocos laterais, aflorando as formações do Complexo de Entre Campos ou do Banco Real. Segundo Moitinho de Almeida estas formações terão espessura que oscila entre os 0 e os 25 m, e as Areolas da Estefânia (subjacentes) apresentam espessura que oscila entre 50 e 60 m.

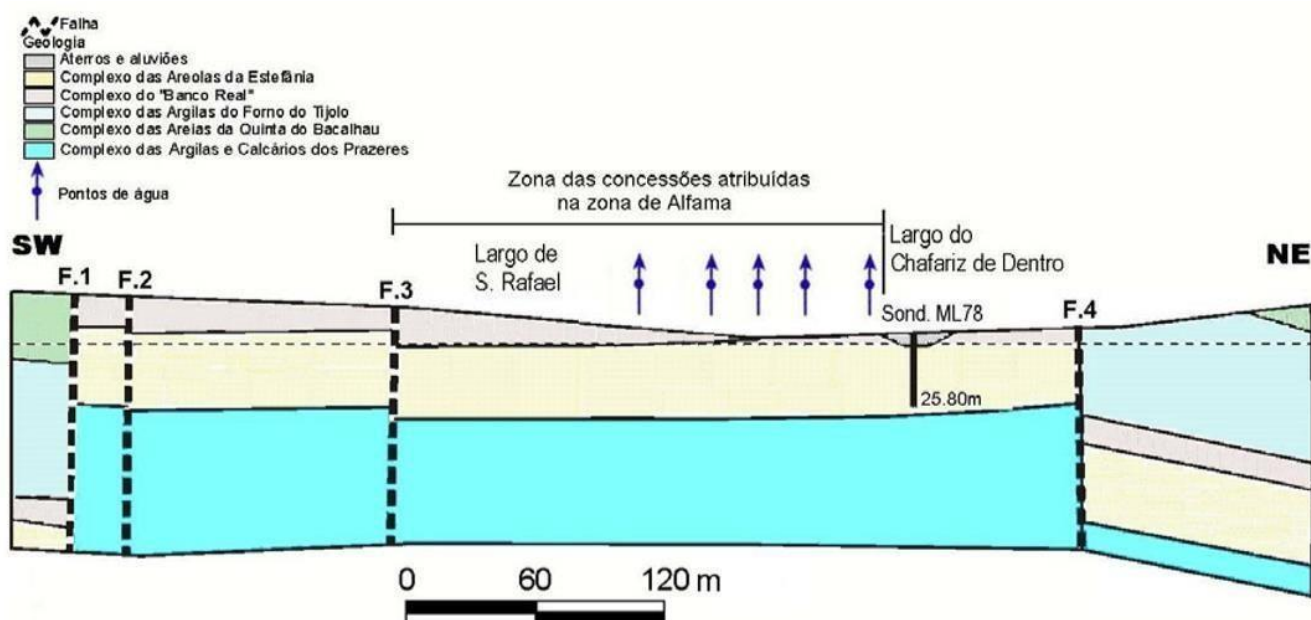


Figura 21: Perfil Geológico interpretativo da zona das nascentes de Alfama (Moitinho de Almeida 1972).

A maioria das nascentes termais de Alfama é conhecida pelo nome do chafariz associado ou pela sua utilização, nomeadamente: Alcaçarias de D. Clara, Alcaçarias do Baptista, Banhos do Doutor, Alcaçarias do Duque, Bica do Jardim do Tabaco, Largo da Fundição e a Bica do Sapato. As primeiras quatro foram emergências de água quente, entre os 24 °C e os 34 °C, sendo as restantes de águas frias (Ramalho e Lourenço, 2006b).

A sua temperatura tem sido explicada pela ascensão de águas provenientes de formações cretácicas a cerca de 450 metros de profundidade, através de falhas profundas e permeáveis (Ferreira, 2004).

As Alcaçarias de D. Clara (24 °C a 28 °C), Alcaçarias do Baptista (32 °C a 24 °C), Banhos do Doutor (27 °C), Alcaçarias do Duque (30 °C a 34 °C) encontram-se alinhadas entre o Largo do Chafariz de El-Rei e o Largo do Chafariz de Dentro. São estas águas quentes que constituem o designado Grupo das Alcaçarias.

Grupo das Alcaçarias

É junto ao Largo das Alcaçarias que encontramos grande parte das emergências termais de Alfama. Na rua Terreiro do Trigo encontram-se os Banhos de J.A. Baptistas e na esquina para a Travessa do Terreiro do Trigo os Banhos de D. Clara, já abandonados em 1935 e onde funcionaria uma padaria com a água a escorrer num canto (Almeida, 1935).

O termo árabe *Alcaçarias* significa “lugar onde se curte e prepara toda a qualidade de pele e courames” (Ramalho e Lourenço, 2006a). As alcaçarias seriam, assim, o local onde existiriam tanques de lavagem de lã e curtimento de peles, assim como tanques de lavagem e banhos. Segundo Ramalho e Lourenço (2006a) as Alcaçarias “serviam às mulheres de serviço para ensaboarem a roupa, por escusarem aquecer a água, a qual se se bebesse, parecia que faria algum bom efeito”, esta seria a primeira referência feita quer à termalidade das águas, quer a efeitos benéficos que estas produziram.

As nascentes deste local seriam captadas numa estrutura (data do século XIX) que abastecia a Fonte das Ratas, importante fonte de abastecimento da população (Figura 22).



Figura 22: Fotografia da Fonte das Ratas (Ramalho e Lourenço, 2006).

As Alcaçarias de D. Clara foram edificadas por D. Clara Xavier de Aguiar, mulher do Sargento-Mor Aurélio da Silva Castilho. Encontravam-se separadas das Alcaçarias do Duque pela Travessa do Terreiro do Trigo e situavam-se na Rua do Terreiro do Trigo (Ramalho e Lourenço, 2006a).

As Alcaçarias do Baptista situavam-se na Rua Terreiro do Trigo, não muito longe das Alcaçarias de D. Clara, tendo o nome do seu proprietário original.

Os Banhos do Doutor tiveram origem provável no período filipino e localizavam-se nas traseiras do Chafariz de Dentro. Até ao século XVII, estas águas eram utilizadas para fins terapêuticos e para lavagem de couros e lãs (Ramalho e Lourenço, 2006a).

Grupo do Beco dos Cortumes

As Alcaçarias do Duque, situadas na Rua do Terreiro do Trigo, utilizavam duas nascentes, a «Grande Alcalina» e a «Sulfurosa». O reservatório da primeira encontrava-se situado por baixo dos alicerces da parede do balneário que ladeia o Beco dos Cortumes (Figura 23) e era constituído por um poço em cantaria, cujo fundo assentaria sobre argilas muito finas e micáceas que parecem pertencer à aluvião ou ao Burgaliano médio. A nascente «Sulfurosa» era captada num pequeno reservatório na travessa do Terreiro do Trigo, junto à parede do edifício do balneário (Almeida, 1935).



Figura 23: Foto do Beco dos Cortumes, visto de dentro (1924), foto de Eduardo Portugal, in AML (Arquivo Municipal de Lisboa).

Grupo do Chafariz d'El Rei

O Chafariz d'El Rei (Figura 24) situado no Terreiro do Trigo, “matava a sede de toda a gente do sítio e abastecia os navios que partiam para as conquistas (notícia recolhida na «Cidade», secção d' *A Capital*, Abril de 1979)”. Como já referido anteriormente neste trabalho, este era o chafariz que abastecia a cidade de Lisboa, no entanto houve momentos de maior escassez de água, sendo restringida a sua utilização.



Figura 24: Chafariz d'El Rei.

As águas do Chafariz d'El Rei encontram-se não apenas onde hoje se encontra o chafariz, mas também a cerca de 40 metros para o interior da colina, tendo sido captadas por meio de galeria que tem respiradouro para a rua de S. João da Praça. Estas nascentes seriam na época utilizadas pela Companhia das Águas (Almeida, 1935).

Grupo de Chafariz de Dentro

Nas traseiras do Chafariz de dentro localizavam-se os Banhos do Doutor (Fernando), que se acredita terem origem no período filipino. As estruturas destes banhos foram reformadas em 1776 (Ramalho e Lourenço, 2006a).



Figura 25: Chafariz de Dentro.

Chafariz da Praia

No antigo Chafariz da Praia, hoje Museu do Fado, apresentava várias bicas que faziam o abastecimento da população e dos barcos que chegavam a Lisboa.

Este antigo chafariz representou a última tentativa de aproveitar as fontes de Alfama para abastecer a zona dos Bairros Orientais de Lisboa (Link 5).



Figura 26: Chafariz da Praia (Link 5).

5. METODOLOGIA

5.1. Informação base

Realizou-se consulta às sondagens disponíveis na base de dados da Câmara Municipal de Lisboa – aplicação GeoSIG (CML). As sondagens encontram-se dispersas ao longo da área de estudo, conforme Figura 27.



Figura 27: Distribuição das sondagens disponibilizadas pela CML.

Algumas das sondagens foram utilizadas na construção dos perfis realizados através do software Groundwater Modelling System (GMS). A partir dos dados registou-se os níveis freáticos obtidos nas sondagens, tendo sido utilizando o software ArcGis para interpolação de construção do mapa piezométrico.

5.2. Amostragem e Métodos Analíticos de Águas

Com o objetivo de conhecer a atual composição físico-química das águas subterrâneas de Alfama, nomeadamente das águas termais, e identificar eventuais contaminações, foi realizada amostragem de algumas águas. Essas amostras foram colhidas em nascentes, chafarizes e cisternas. O acesso às diferentes estruturas de abastecimento e águas subterrâneas foi facilitado pela CML. As campanhas para amostragem foram acompanhadas pelo Dr. Pedro Miranda (arqueólogo) e pelo Dr. Rui Matos (historiador) da CML.

Os pontos de água amostrados estão identificados na Tabela 1 e Figura 28. A descrição pormenorizada dos locais amostrados é efectuada no ANEXO 3 – Ficha de Campo: Locais de Amostragem das Águas de Alfama. No campo foram medidos os parâmetros físico-químicos temperatura (°C), pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) da água. Foram recolhidas águas para análises físico-químicas de elementos maiores em frascos de polietileno de 2 L e amostras para análise de isótopos estáveis $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ em frascos de 100 mL.

Tabela 1: Locais de Amostragem de águas subterrâneas em Alfama.

Amostra	Local da Amostra
Alfama 1	Largo das Alcaçarias
Alfama 2	Beco dos Cortumes
Alfama 3	Rua dos Anjos nº10
Alfama 4	Chafariz d'El Rei
Alfama 5	Museu do Fado
Alfama 6	Chafariz de Dentro
Alfama 7	Poço Capela da Nossa Senhora dos Remédios
Alfama 8	Traseiras do Chafariz d'El Rei
Alfama 9	Largo das Alcaçarias
Alfama 10	Largo das Alcaçarias



Figura 28: Localização dos pontos de amostragem de águas subterrâneas em Alfama, sobre mapa GoogleEarth..

As análises químicas de elementos maiores foram realizadas no Laboratório de Análises do Instituto Superior Técnico (LAIST). As razões isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ foram determinadas no Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares/Instituto Superior Técnico.

6. RESULTADOS e DISCUSSÃO

6.1 Análise de Sondagens

A CML disponibilizou informação sobre 123 sondagens geotécnicas realizadas na área em estudo. Após análise cuidadosa das suas localizações e *logs*, foram selecionadas oito, com vista à construção de perfis geológicos para definição da estrutura, ocorrência de aquíferos e suas espessuras. Devido à distância entre sondagens e ocorrência de falhas nos intervalos, não foi possível ligar todas as sondagens selecionadas.

A Figura 29 apresenta a localização das sondagens selecionadas para a construção dos perfis. Estas mesmas sondagens encontram-se representadas a três dimensões na Figura 30, sendo desta forma já perceptível as unidades geológicas em profundidade presentes em cada uma delas.



Figura 29: Localização, em planta, das sondagens utilizadas para construção de perfis geológicos.

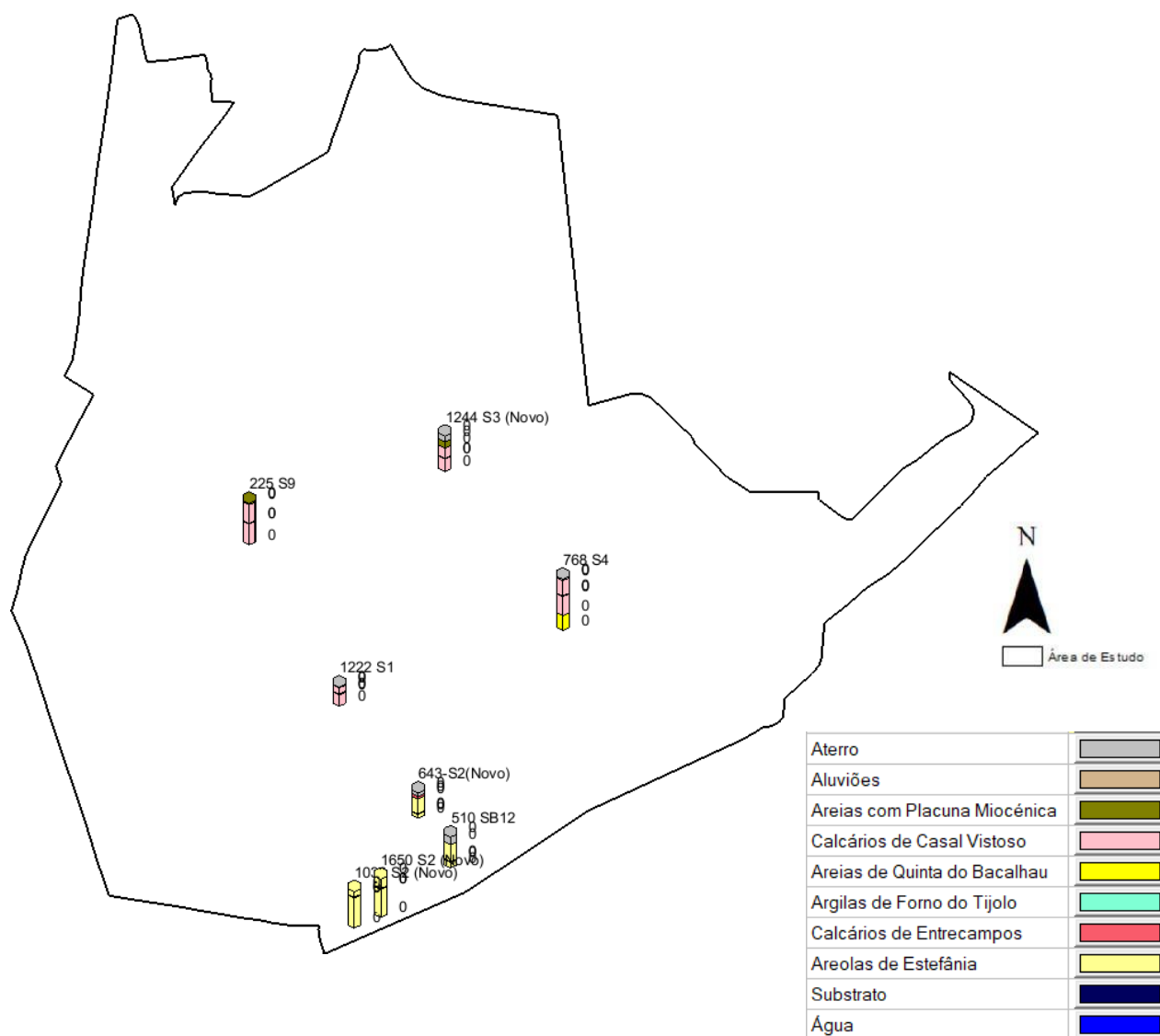


Figura 30: : Localização das sondagens estudadas e respetivos logs, em 3D, usando o software GMS.

Foi possível construir quatro perfis, que definem uma estrutura na zona mais central da área de estudo (Figura 31). Os perfis foram construídos a partir das ligações dos *logs* das sondagens 225 S9, 1244 S3, 1222 S1 e 768 S9.

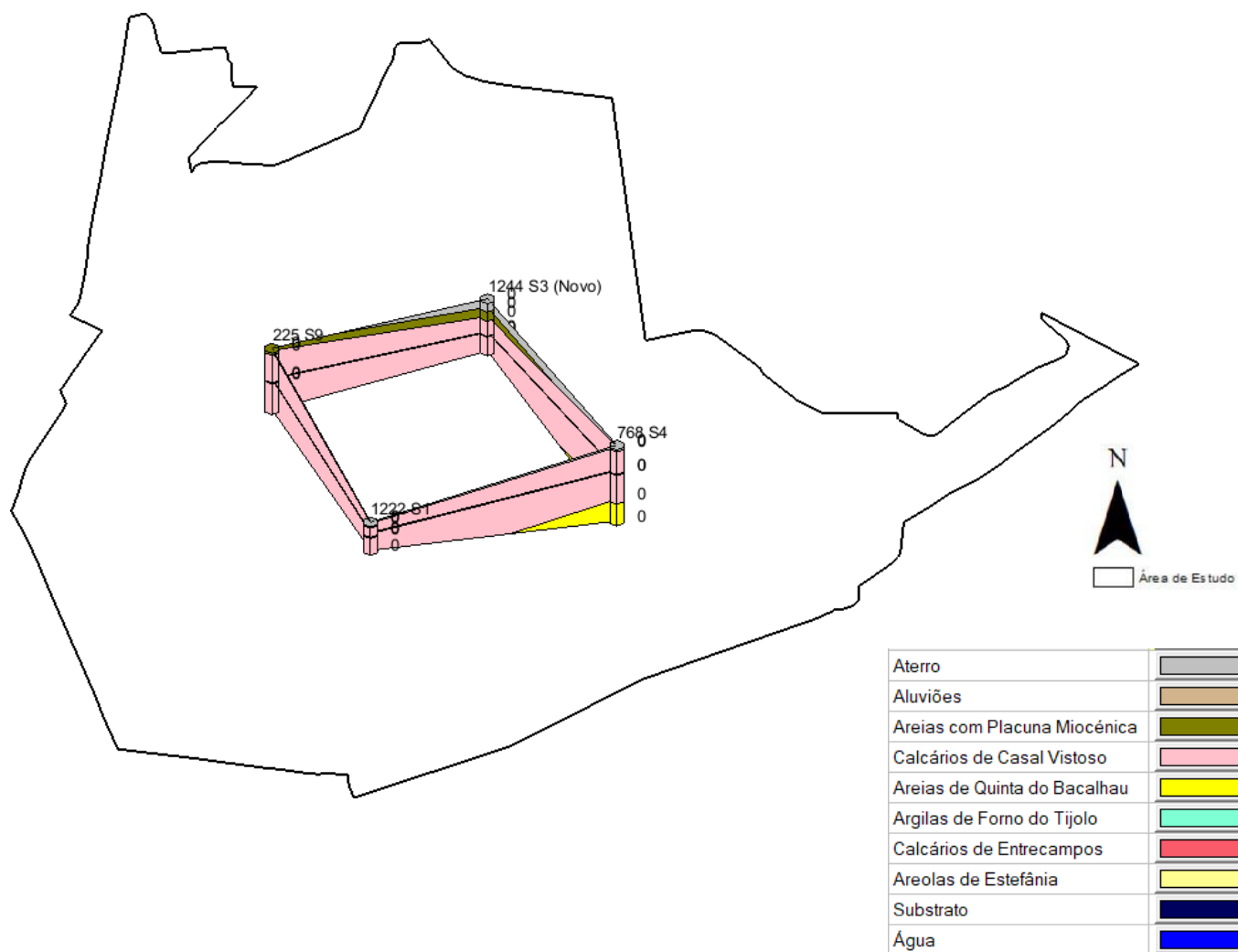


Figura 31: Perfis geológicos desenhados com o software GMS, utilizando logs de sondagens na parte central da área de estudo; traço a reto no meio da formação dos Calcários do Casal Vistoso representa o nível piezométrico da zona.

A sondagem S9 (Relatório 225) encontra-se a uma cota de 84 m e tem 33 m de profundidade, no seu topo afloram as Areias com *Placuna Miocénica*, seguida dos Calcários do Casal Vistoso. É nesta formação que se observa o nível piezométrico à cota 68 m.

O topo sondagem S3 (relatório 1244) encontra-se à cota 76,44 m e na parte superior do log foi intersetada a formação das Areias com *Placuna Miocénica*, seguida dos Calcários do Casal Vistoso. A sondagem tem 55,88 m de profundidade. O nível freático foi detetado a 58,94 m de cota, associado à formação dos Calcários do Casal Vistoso.

A Sondagem S4 (relatório 768), que tem 40,65 m de profundidade, encontra-se a uma cota de 43,5 m e na parte superficial intersesta os Calcários do Casal Vistoso, e em profundidade a formação das Areias da Quinta do Bacalhau. O nível piezométrico foi detetado à cota de 30,3 m associado à formação dos Calcários do Casal Vistoso.

A Sondagem S1 (relatório 1222) S1, à cota de 59,21 m, atravessou apenas os Calcários do Casal Vistoso e o nível piezométrico foi registado à cota de 53,64 m. Apresenta uma profundidade de 15,21 m.

Da análise dos perfis desenhados é possível identificar uma superfície piezométrica entre as cotas 68 e 30,3 m, associada à formação dos Calcários do Casal Vistoso, com gradiente para Sul.

Foram construídos mais três perfis geológicos que definem uma estrutura na zona mais a sul da área de estudo. Esta zona corresponde à de maior número de emergência de águas e aos locais de amostragem realizados no âmbito deste trabalho (Figura 32). Os perfis (Figura 33) foram construídos ligando os logs das sondagens: 643 S2, 510 SB12, 1650 S2 e 1036 S2.

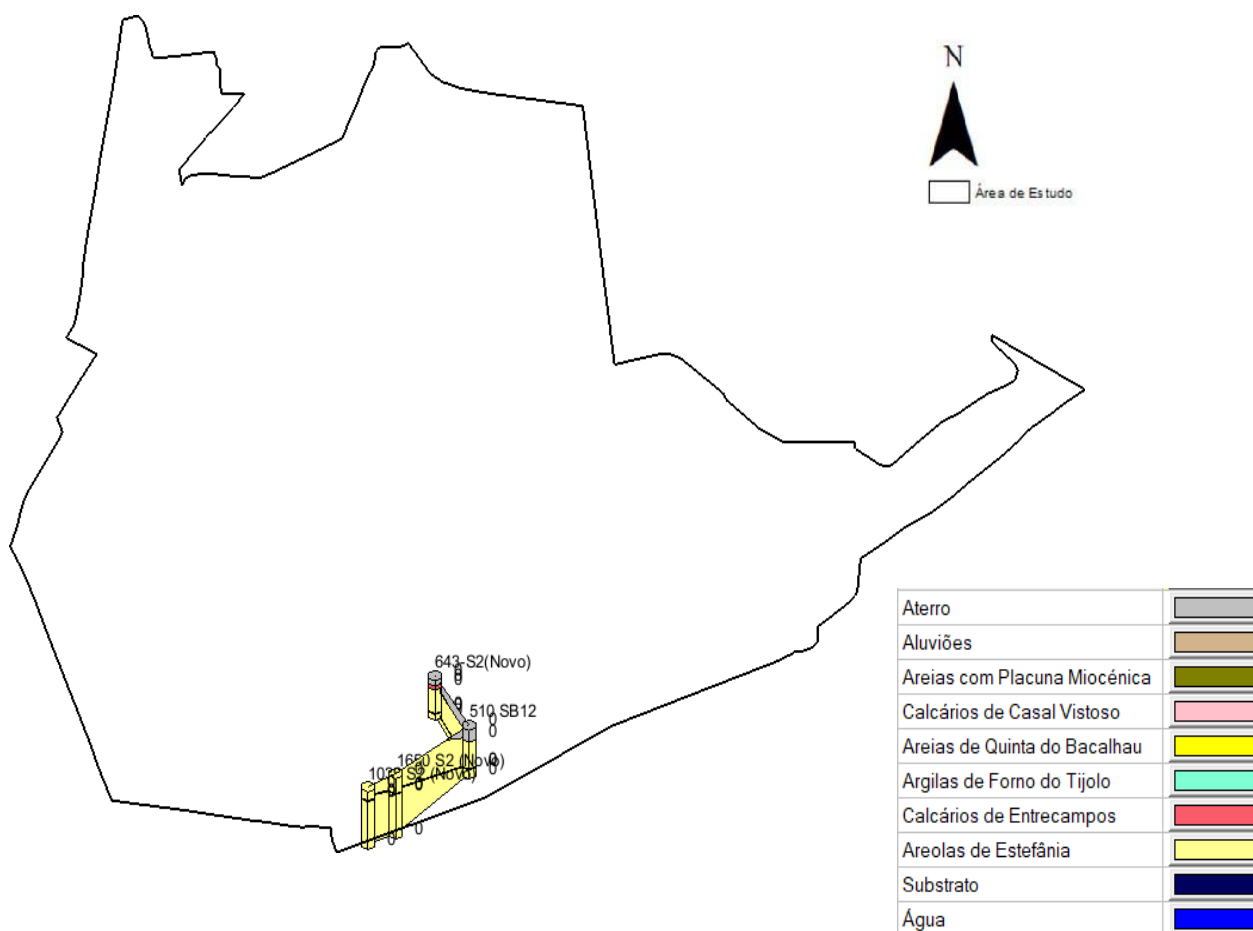


Figura 32: Perfis geológicos desenhados com o software GMS, utilizando logs de sondagens na parte sul da área de estudo; traço a preto no meio da formação das Areolas de Estefânia representa o nível piezométrico da zona.

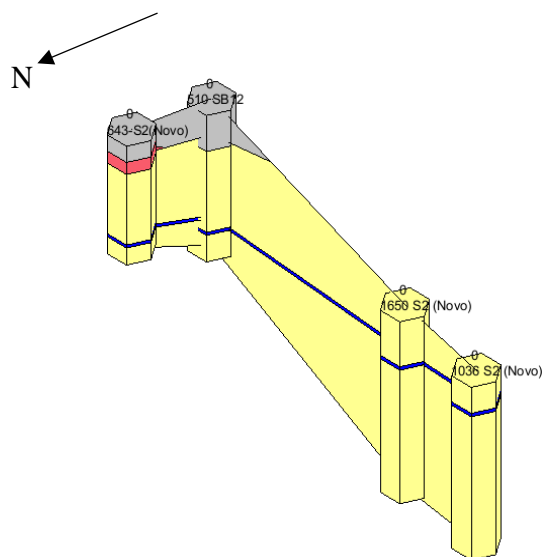


Figura 33: Perfis geológicos desenhados com o software GMS, utilizando logs de sondagens na parte sul da área de estudo; traço a preto no meio da formação das Areolas de Estefânia representa o nível piezométrico da zona.

A Sondagem S2 (relatório 643) encontra-se à cota de 33 m e o no topo interseta os Calcários de Entrecampos, seguidos em profundidade pelas Areolas de Estefânia. A meio da formação de Areolas de Estefânia foi detetado o nível piezométrico, à cota de 16,5 m. Esta sondagem tem 19,85 m de profundidade.

A Sondagem SB12 (relatório 510) foi executada a uma cota de 21 m, a sondagem S2 (relatório 1650), executada a uma cota de 8,57 m e a sondagem S2 (relatório 1036), executada a uma cota 6,12 m. Estas sondagens atravessam apenas a formação das Areolas de Estefânia. Na sondagem SB12 (relatório 510) o nível freático foi detetado à cota 1,5 m, na sondagem S2 (Relatório1650) foi detetado à cota de 1,07m e na sondagem S2 (relatório 1036) foi detetado à cota de 1,2 m. Estas sondagens têm profundidade de 24,45 m, 30,37 m e 28,85 m, respetivamente.

É possível constatar que o nível freático nesta zona foi observado entre 1,07 m e 16,5 m de cota, associado à formação das Areolas de Estefânia.

Na zona destes perfis, a superfície piezométrica desenhada marca um gradiente para NE, contrária à que se observa mais a norte. Isto pode significar que há um empolamento do nível a sul, onde ocorrem cotas piezométricas mais elevadas e que pode resultar da influência do potencial constante do rio Tejo, ou da ocorrência de níveis de água repuxantes associados às emergências de água termal.

Também com recurso à análises das sondagens foi possível obter o mapa piezométrico da área de estudo (Figura 34).

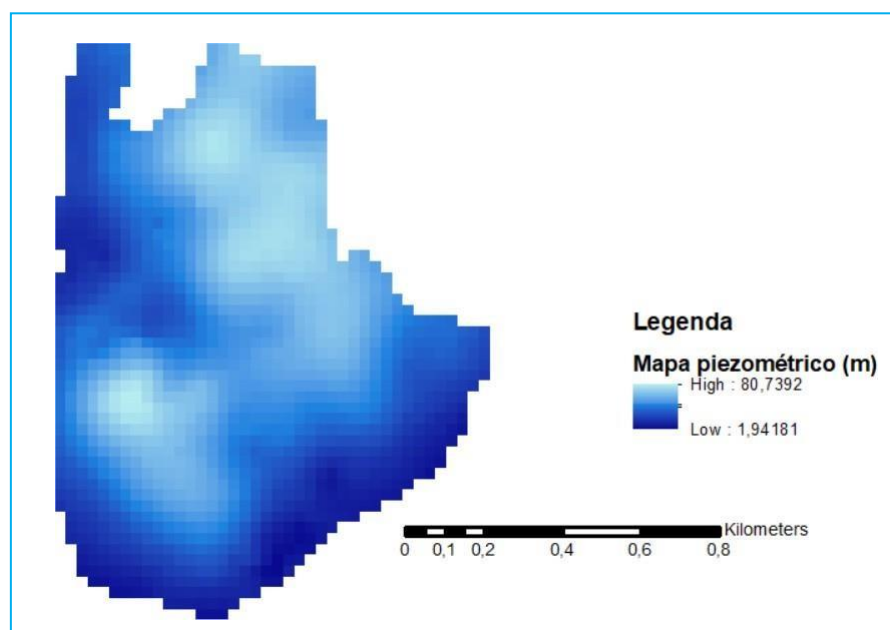


Figura 34: Mapa piezométrico da área de estudo, utilizando o software ArcGIS.

6.2 Composição Físico-química da água

As características físico-químicas da água subterrânea refletem o meio pelo qual a água circula, ocorrendo uma estreita relação entre a água e as litologias dos aquíferos, bem como com produtos das atividades humanas (contaminação) adquiridas ao longo do seu percurso.

No que diz respeito à interação água-rocha, uma água subterrânea será tanto mais mineralizada quanto mais alterada ou alterável for a rocha, maior tempo de interação, maior acidez da água e maior temperatura.

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados das medições de parâmetros físico-químicos *in situ*, nomeadamente pH, temperatura e condutividade elétrica.

A condutividade elétrica de uma água permite avaliar globalmente o seu grau de mineralização, que resulta da relação existente entre a concentração em sais minerais dissolvidos na água e a resistência que ela oferece à passagem da corrente elétrica. Valores elevados de condutividade elétrica são típicos de águas mais mineralizadas.

A condutividade elétrica das águas amostradas varia entre os 641,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1 648 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o pH varia entre 6,75 e 8,40 e a temperatura das águas recolhidas varia entre os 18,4 °C (Alfama 9) e os 21,2 °C (Alfama 1). Não foi recolhida nenhuma amostra com temperatura elevada como reportado na bibliografia, tal como se observa na Tabela 2: Parâmetros físico-químicos medidos *in situ*.

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos medidos in situ.

	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Alfama 1	6,86	21,2	1405
Alfama 2	7,19	19,9	1105
Alfama 3	7,83	21,1	1260
Alfama 4	7,56	18,5	1190
Alfama 5	8,4	19,6	1648
Alfama 6	7,21	20,9	641,8
Alfama 7	7,61	20,7	1190
Alfama 8	7,26	19,5	1191
Alfama 9	6,79	18,4	1095
Alfama 10	6,75	21,1	1325

Nas Tabela 3 e Tabela 4 estão representadas as análises químicas realizada às amostras. As águas apresentam valor de bicarbonato que varia entre 110 e 306 mg/L, de cloreto que varia entre 61 e 980 mg/L, fluoreto que varia entre 0,1 e 0,2 mg/L, nitrito que varia entre <0,010 e 0,79 mg/L, sulfato cujos valores variam entre 75 e 195 mg/L, azoto amoniacal que varia entre 0,05 e 0,12 mg/L, cálcio que varia entre 58 e 131 mg/L, ferro cujos valores variam entre <0,010 e 3,7 mg/L, magnésio que varia entre 7,1 e 21 mg/L, potássio que varia entre 4,8 e 58 mg/L e o sódio cujos valores variam entre 50 e 220 mg/L.

No que diz respeito à qualidade, verifica-se que, à exceção das amostras Alfama 5 e 6, as águas apresentam concentrações muito elevadas de nitrato, muito superiores ao valor limiar de qualidade de 50 mg/L. Nas amostras Alfama 1 e Alfama 3 ocorre a espécie nitrito, indicando que,

para além de contaminação por azoto, esta contaminação deve ser orgânica (oxidação da matéria orgânica e redução do nitrato para nitrito). A água Alfama 3 apresenta valores excessivamente altos de ferro dissolvido (3,7 mg/L).

Tabela 3: Resultados da análise química das águas recolhidas (Aniões), concentrações em mg/L.

	Bicarbonato	Cloreto	Fluoreto	Nitrato	Nitrito	Sulfato
Alfama 1	265	156	0,1	140	0,79	154
Alfama 2	241	98	0,2	161	<0,010	87
Alfama 3	110	171	0,2	80	0,53	195
Alfama 4	279	101	0,1	144	<0,010	85
Alfama 5	187	325	0,1	45	<0,010	101
Alfama 6	183	61	0,2	31	<0,010	44
Alfama 7	225	112	0,1	154	<0,010	75
Alfama 8	306	98	0,1	141	0,042	86
Alfama 9	246	980	0,1	119	0,11	90
Alfama 10	289	134	0,1	114	<0,010	135

Tabela 4: Resultados da análise química das águas recolhidas (Catiões), concentrações em mg/L.

	Azoto amoniacal	Cálcio	Ferro	Magnésio	Potássio	Sódio
Alfama 1	0,22	131	<0,010	17	29	126
Alfama 2	<0,05	81	0,032	11	61	108
Alfama 3	0,05	123	3,7	11	20	110
Alfama 4	<0,05	77	<0,010	15	55	117
Alfama 5	0,1	58	<0,010	15	58	220
Alfama 6	<0,05	63	0,018	7,1	4,8	50
Alfama 7	0,07	104	0,29	10	38	99
Alfama 8	<0,05	71	<0,010	13	51	104
Alfama 9	0,12	73	<0,010	9,9	28	97
Alfama 10	<0,05	111	0,019	21	26	121

Com vista à classificação das águas amostradas recorreu-se à construção de diagramas de Piper (Figura 35), construído com o programa QualiGraf 2018. Os resultados de cada uma das amostras encontra-se no ANEXO 4 – Resultados (Gráficos e Diagramas de Piper).

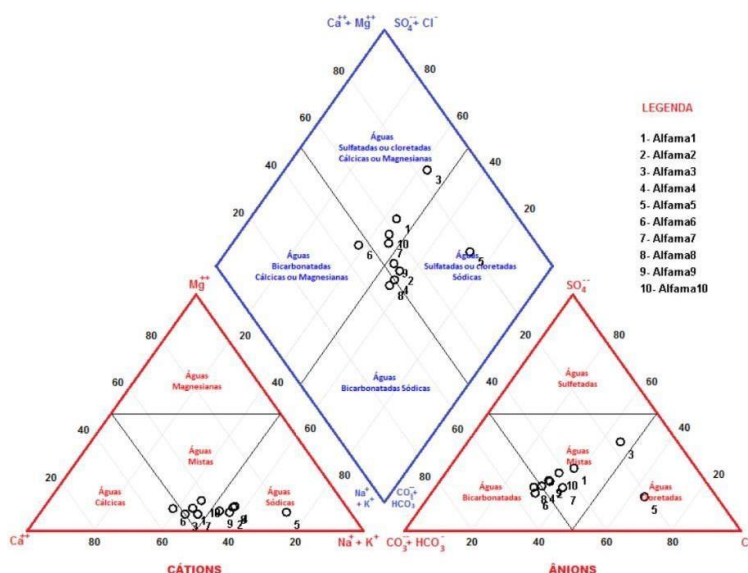


Figura 35: Representação das amostras de água de Alfama num Diagrama de Piper.

De acordo com a composição iónica maioritária concluímos que as várias águas amostradas apresentam diferentes fácies (Tabela 5). A amostra Alfama 5 destaca-se pela sua composição cloretada-sódica, as restantes têm composição mista, de cloretada a bicarbonatada, com algum sulfato, e de sódica a cálcica.

A amostra Alfama 5 apresenta uma condutividade elétrica elevada, correspondendo a uma forte mineralização nesta água. A sua composição clorestada-sódica está associada a esta forte mineralização. Pelo contrário a Amostra Alfama 6 apresenta uma condutividade elétrica mais baixa, estando a sua composição bicarbonatada cálcica associada a esta mineralização mais baixa.

Tabela 5: Classificação das águas recolhidas.

Amostra	Classificação das Águas
Alfama 1	Água Sulfatada Cloretada Sódica Cálcica
Alfama 2	Água Bicarbonatada Sódica
Alfama 3	Água Sulfatada Cloretada Cálcica
Alfama 4	Água Bicarbonatada Sódica
Alfama 5	Água Cloretada Sódica
Alfama 6	Água Bicarbonatada Cálcica
Alfama 7	Água Sulfatada Cloretada Cálcica
Alfama 8	Água Bicarbonatada Sódica
Alfama 9	Água Cloretada Sódica
Alfama 10	Água Sulfatada Cálcica

É possível comparar alguns parâmetros das águas recolhidas ao longo deste trabalho com os mesmos parâmetros de águas recolhidas entre 1941 e 1942 da EPAL (Tabela 6). Os dados de águas do arquivo da EPAL, colhidos entre 1941 e 1942, foram fornecidos pela CML. Destaca-se essencialmente a diferença de temperaturas das águas, na qual a do Beco do Cortumes, do Chafariz d'El Rei e do Chafariz de Dentro diminuíram a sua temperatura desde 1941/42 até aos dias de hoje.

Tabela 6: Comparação de análise de águas recolhidas em 1941/1942 (Arquivo EPAL) e as águas recolhidas neste trabalho.

	Ano	Temperatura	Aparência	Cheiro
Beco dos Costumes (Alfama 2)	1942	22 °C	Límpida	Inodora
	2019	19,9 °C	Ligeiramente turva	A mofo
Rua dos Anjos (Alfama 3)	1942	16 °C	Límpida	Inodora
	2019	21,1 °C	Turva	Intenso, a hidrocarbonetos
Largo Chafariz de El-Rei	1941	25,3 °C	Límpida	Inodora
(Alfama 4)	2019	18,5 °C	Límpida	Ligeiro, não identificado
Largo do Chafariz de Dentro (Alfama 6)	1941	25,5 °C	Límpida	Inodora
	2019	20,9 °C	Límpida	Intenso, a água estragada

6.3 Isótopos ambientais estáveis: Oxigénio-18 e Deutério

Os isótopos ambientais estáveis podem ser usados como traçadores do fluxo subterrâneo em sistemas hidrológicos e superficiais permitindo a obtenção de informações que lhes são características. Estas características permitem caracterizar as direções de fluxo, devido ao facto dos isótopos de um dado elemento químico possuírem propriedades químicas idênticas, mas diferentes massas que fazem com que possuam propriedades físicas diferentes. É induzida então uma variação da composição isotópica inicial devido a sofrerem fracionamento isotópico por possuírem velocidades de reação diferentes (Clark & Fritz, 1997).

Isótopos ambientais podem ser utilizados como traçadores de processos hidrológicos e hidrogeológicos, porque variações nas razões isotópicas estão associadas a mudanças de estado da água e a interação água-gás-rocha. As suas aplicações incluem a identificação de: percursos da água subterrânea, origem da água, áreas de recarga de aquíferos, taxa de recarga, interação água-rocha, processos contaminantes (Sidle, 1997).

O uso de isótopos estáveis aplicados à hidrologia e à hidrogeologia baseia-se na variação da concentração dos isótopos de um dado elemento. A variação é relativa a um padrão internacional e, desta forma, os desvios isotópicos são obtidos pela razão entre a espécie isotópica mais pesada e a mais leve, comparativamente (Equação 1) (IAEA (1981)).

$$\delta(\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrão}}} - 1 \right) * 1000 \quad (\text{Equação 1})$$

As espécies isotópicas estáveis mais abundantes do elemento químico oxigénio são o oxigénio-16 (^{16}O espécie isotópica mais leve) e o oxigénio-18 (^{18}O espécie isotópica mais pesada), com uma abundância média terrestre de 99,760% e de 0,100%, respetivamente. A razão entre os dois é de 0,002 (IAEA (1981)).

O Hidrogénio tem dois isótopos estáveis sendo eles o ^1H (espécie mais leve), ^2H (deutério, espécie mais pesada) e com abundância média terrestre de 99,985% e de 0,015%, respetivamente. A razão entre os dois é de 0,00015 (IAEA (1981)).

Atualmente, o padrão internacional utilizado como valor de referência é o V-SNOW (Vienna – Standard Mean Ocean Water) para os estudos de hidrologia isotópica para os isótopos oxigénio – 18 e deutério. Este padrão pretende representar o valor médio da composição isotópica dos oceanos, que em notação delta, é próxima de zero, tanto para o valor de $\delta^{18}\text{O}$ como para o de $\delta^2\text{H}$.

Craig (1961) demonstrou a existência de uma relação linear entre a concentração de $\delta^2\text{H}$ e de $\delta^{18}\text{O}$, representada por uma Recta das Águas Meteoricas Global com a equação:

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10 \quad (\text{Equação 2})$$

Em Portugal o clima está sobre o efeito do regime de circulação norte e a humidade mostra a influência do oceano Atlântico. Em Portugal as estações do ano que apresentam uma maior precipitação são o Outono e o Inverno. Carreira *et al.* (2005) realizou um tratamento estatístico dos resultados da composição isotópica da precipitação amostrada em sete estações, que fazem parte da rede de isótopos na precipitação de Portugal Continental e propôs uma reta de correlação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$, com a seguinte equação ($r=0,95$ e $n=405$):

$$\delta^2\text{H} = (6,78 \pm 0,10) \delta^{18}\text{O} + (4,45 \pm 4,46) \quad (\text{Equação 3})$$

Os resultados das análises isotópicas realizadas nas amostras de água de Alfama estão representados na Tabela 7. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ variam entre -5,13 e -0,92 ‰ e os de $\delta^2\text{H}$ entre -28,7 e -2,2 ‰.

Tabela 7: Resultados das análises isotópicas de Oxigénio e Deutério e da condutividade elétrica nas águas amostradas em Alfama.

Amostra	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Alfama 1	-4,92	-27,9	1045
Alfama 2	-5,13	-27,7	1105
Alfama 3	-4,72	-27,5	1260
Alfama 4	-4,66	-24,9	1190
Alfama 5	-0,92	-2,2	1648
Alfama 6	-4,69	-26,5	641,8
Alfama 7	-4,87	-26,4	1190
Alfama 8	-4,87	-26,5	1191
Alfama 9	-4,92	-26,9	1095
Alfama 10	-4,85	-28,7	1325

A projeção dos resultados isotópicos num diagrama $\delta^2\text{H}$ (‰) vs $\delta^{18}\text{O}$ (‰) e das Rectas das Águas Meteóricas Global (Craig, 1961), da Águas Meteóricas de Portugal (Carreira *et al.* 2005) e da recta das Águas Meteóricas Global de Craig (1961) (Figura 36), mostra que à exceção de uma amostra (Alfama 5) as restantes amostras caem no intervalo entre as duas retas de precipitação.

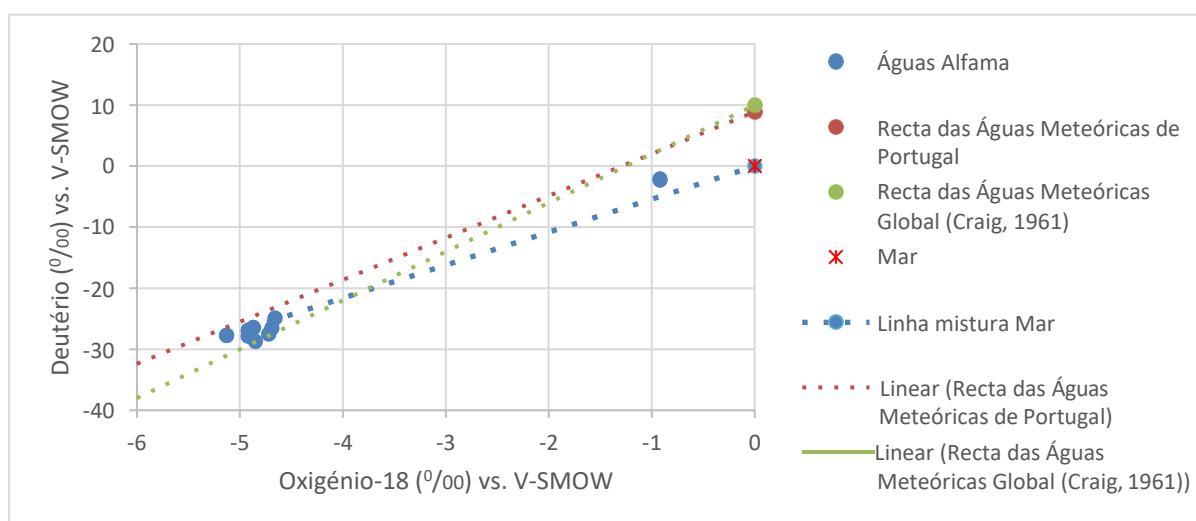


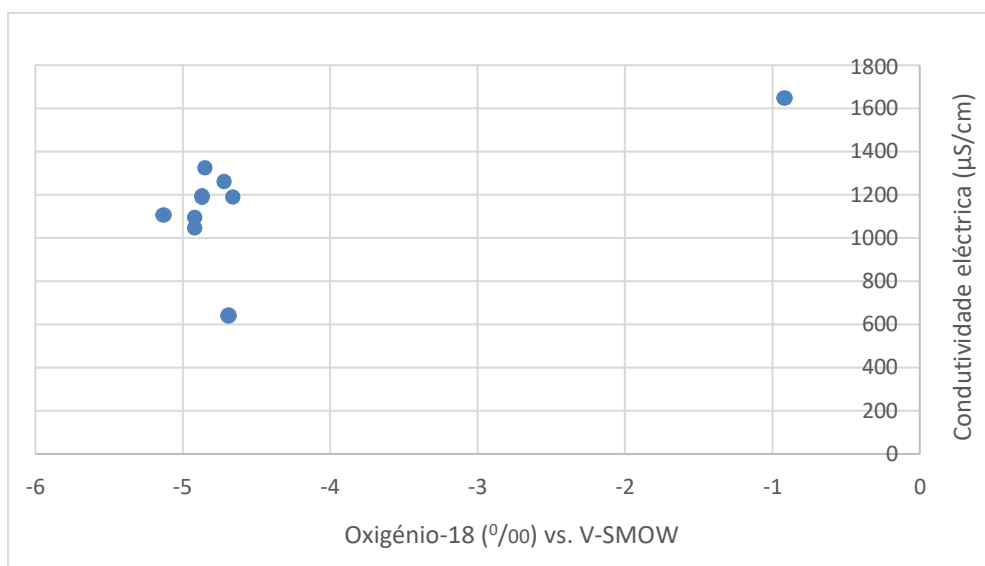
Figura 36: Relação entre as Recta das Águas Meteóricas de Portugal, a recta das Águas Meteóricas Global (Craig, 1961) e as amostras recolhidas em Alfama.

A amostra Alfama 5 apresenta um grande desvio em relação à reta das águas meteóricas, com forte enriquecimento de $\delta^{18}\text{O}$ (‰) e de $\delta^2\text{H}$ (‰). Este desvio só pode ser explicado por contaminação, que poderá corresponder a uma mistura com água do mar ou a outro tipo de

contaminações. De qualquer modo, apresenta valores de $\delta^2\text{H}$ superiores aos considerados para água do mar, podendo indicar processos de evaporação em não equilíbrio (evaporação e condensação no mesmo espaço/área). Os valores de condutividade elétrica da amostra Alfama 5 são bastante mais elevados que os valores das restantes amostras recolhidas, mostrando que a mineralização desta água é bastante superior às restantes. A sua maior mineralização demonstra a contaminação que ocorre nesta água.

Esta amostra corresponde à água recolhida no tanque existente sob o Museu do Fado, correspondendo ao antigo Chafariz de fora, que poderá ter mistura de água subterrâneas com água do estuário, retida durante algum tempo no tanque.

Projetou-se os resultados de $\delta^{18}\text{O}$ (‰) e de $\delta^2\text{H}$ (‰) comparativamente à condutividade elétrica das diferentes amostras. É possível perceber que a amostra Alfama 5, que apresenta uma condutividade elétrica elevada e portanto uma maior mineralização, corresponde a um forte enriquecimento em $\delta^{18}\text{O}$ (‰) e de $\delta^2\text{H}$ (‰) (Figura 37 e Figura 38).



7. MODELO HIDROLÓGICO CONCEPTUAL

Marrero-Diaz e Ramalho (2015) apresentam um modelo hidrológico conceptual da zona de Alfama a partir do corte geológico de Moitinho de Almeida (1986) (Figura 39), com nomenclatura de Pinto (2003).

As setas brancas correspondem à circulação provável das águas meteóricas através do Complexo Calco-Arenítico Miocénico e do Complexo Miocénico Inferior para SW. As setas roxas mais finas correspondem à ascensão, através de falhas, das águas profundas que davam origem às nascentes termominerais de Alfama. A seta escura horizontal corresponde a uma intrusão marinha (não há evidências de mistura com as águas do Tejo) (Marrero-Diaz & Ramalho, 2015).

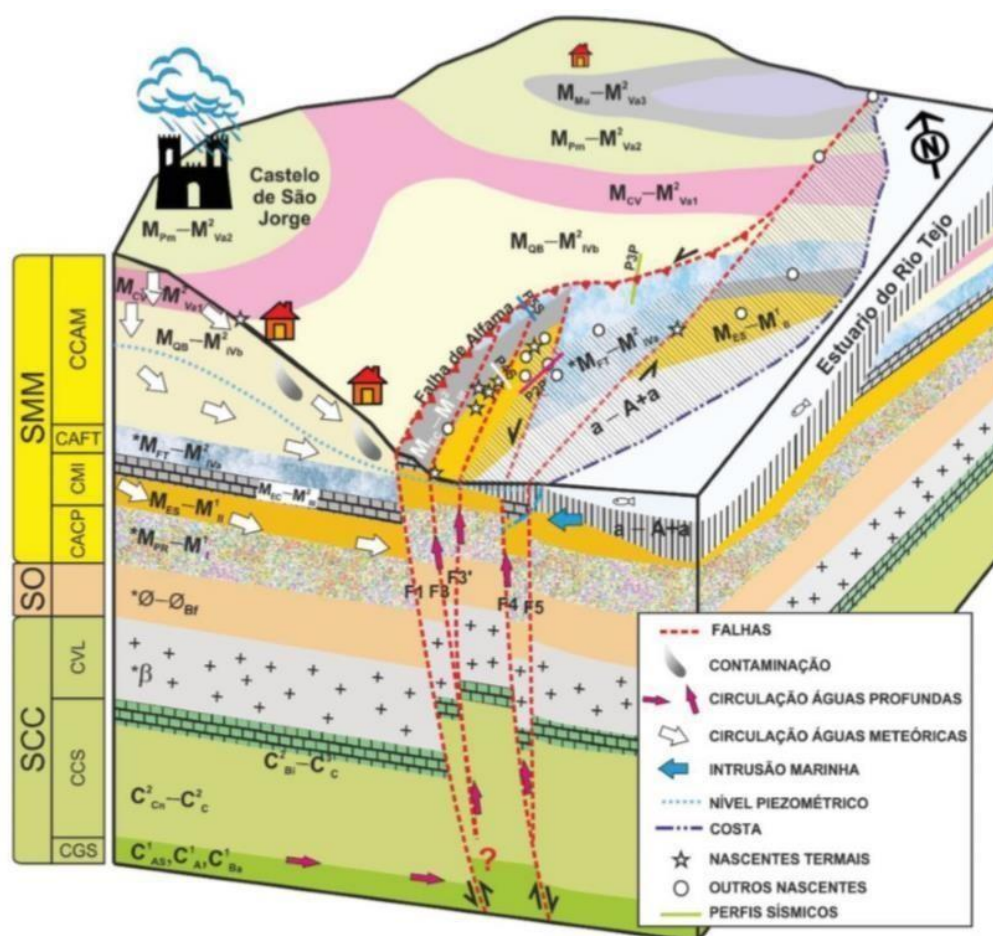


Figura 39: Modelo hidrológico conceptual da área de Alfama realizado por Marrero-Diaz & Ramalho (2015).

Os aquíferos mais superficiais aparentam encontrar-se desenvolvidos nos Calcários do Casal Vistoso e nas Areias de Estefânia. Encontrando-se associado aos Calcários do Casal Vistoso na região central da área de estudo, entre as cotas 68 e 30,3, e associado às Areias de Estefânia na região sul da área de estudo, entre as cotas 1,07 e 16,5.

A hidrogeologia desta zona de Lisboa é bastante influenciada pelas condições estruturais, topográficas e litológicas. As águas termais emergentes em Alfama encontram-se associadas às

formações miocénicas, suas nascentes aparecem associadas a falhas com direção aproximada NE-SW, na região sul da área de estudo.

As nascentes consideradas de águas termais já não apresentam as temperaturas que anteriormente foram medidas, apresentando temperaturas mais baixas, ainda que seja de considerar a possibilidade de em maior profundidade haver ainda a possibilidade de aproveitamento da temperatura destas águas, nomeadamente para aquecimento de edifícios urbanos. Para além disto estas águas encontram-se muito contaminadas, a contaminação pode ser explicada pela possível mistura com águas de escorrência superficial e infiltração e pela mistura com águas de esgotos.

8. PERCURSOS DA ÁGUA EM ALFAMA

Além da caracterização acima apresentada, o presente trabalho pretende igualmente estabelecer percursos pedestres pelas águas de Alfama, dando a conhecer a história, a geologia e hidrogeologia de Alfama, contribuindo para o conhecimento hidrológico e cultural da Colina do Castelo. Pretende ainda aproximar os residentes e os visitantes de Lisboa a uma história marcada pelos percursos da água em Alfama.

Para ajudar da divulgação desta informação científica desenvolveu-se um folheto informativo (Figura 40), no qual é apresentado um percurso pelos locais que mais interesse têm do ponto de visto hidrogeológico. Nesse percurso são propostos sete locais (Figura 41) onde é feita uma breve abordagem histórica e uma caraterização hidrogeológica (ANEXO 5 – Folheto: Percursos da água em Alfama).

Percursos da água em Alfama



Este folheto foi elaborado no âmbito da Tese de Mestrado em Geologia Aplicada e do Ambiente, na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.



Folheto elaborado por:

Filipa Pedro Brás

Figura 40: Capa e contracapa do folheto "Percursos da água em Alfama".



- Legenda:**
- | | |
|--------------------------|---|
| 1 – Largo das Alcaçarias | 6 – Chafariz de Dentro |
| 2 – Beco dos Cortumes | 7 – Capela da Nossa Senhora do Remédios |
| 4 – Chafariz d'El Rei | 8 – Traseiras do Chafariz d'El Rei |
| 5 – Museu do Fado | |

Figura 41: Percurso pedestre pelas águas de Alfama, gerada em Google Earth.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho permitiu caracterizar diferentes tipos de águas subterrâneas associadas à zona da Colina do Castelo (Alfama), bem como as suas origens, identificando os seus percursos e as estruturas de captação e adução. Especial atenção foi dada às nascentes conhecidas como águas termais de Alfama.

Foi feita uma caracterização geológica com base nos *logs* de sondagens geotécnicas disponibilizadas pela CML e na construção de perfis, levando a um conhecimento maior da área em estudo, nomeadamente na sua zona central e na zona sul.

A análise dos níveis piezométricos registados nas sondagens permitiu a elaboração de uma carta piezométrica para a zona de Alfama. Na zona central da área de estudo a superfície piezométrica encontra-se entre as cotas 68 e 30 m, associada à formação dos Calcários do Casal Vistoso, com gradiente para Sul. Na zona sul da área, a superfície piezométrica marca um gradiente para NE, contrária à que se observa mais a norte. As cotas piezométricas mais elevadas a sul podem mostrar um empolamento do nível a sul resultante da influência do potencial constante do rio Tejo ou de níveis de água repuxantes associados às emergências de águathermal.

A análise comparativa das principais características geoquímicas das antigas nascentes termominerais de Alfama com as amostras atuais revelam que essas mesmas nascentes apresentam nos dias de hoje valores de temperatura entre 18,4 °C e 21,2 °C e condutividade elétrica entre 641,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1 648 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A água recolhida no Museu do Fado, antigo Chafariz de Fora, é a que apresenta o valor de condutividade elétrica mais alto, o que representa uma mineralização bastante mais elevada que as restantes, podendo corresponder a uma mistura de água subterrânea com água do estuário águas contaminadas com muita matéria orgânica.

Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ variam entre -5,13 e -0,92 e os de $\delta^2\text{H}$ entre -28,7 e -2,2. A amostra Alfama 5 apresenta um grande desvio em relação à reta das águas meteóricas, com forte enriquecimento de $\delta^{18}\text{O}$ (‰) e de $\delta^2\text{H}$ (‰).

Segundo dados históricos, ocorrem em Alfama várias nascentes com temperaturas acima dos 24 °C, num alinhamento entre o Chafariz d'El Rei e a Bica do Sapato, que se encontram associadas a um sistema de falhas geológicas localizadas na região de Alfama. A partir das análises realizadas ao longo deste trabalho foi possível concluir que as nascentes apresentam temperaturas mais baixas que as relatadas pelos dados históricos, sendo a nascente com temperatura mais elevada (21,2 °C) regista no ponto Alfama 1 (Largo das Alcaçarias).

A comparação dos resultados obtidos nas amostras recolhidas em campo ao longo deste trabalho, em comparação com dados do arquivo da EPAL dos anos de 1941 e 1942 (disponibilizados pela CML) indica que ocorreu um decréscimo de temperatura nas nascentes do Beco dos Cortumes, Largo do Chafariz d'El Rei e do Largo do Chafariz de Dentro, tendo-se verificado um aumento de cerca de 5°C na água recolhida em 2019 na Rua dos Anjos.

As águas amostradas não apresentam qualidade para serem utilizadas para consumo humano, dada a sua forte mineralização e contaminação por nitratos. No entanto, as águas frias armazenadas nas diferentes estruturas de abastecimento podem ser aproveitadas para outros fins, tais como a rega dos espaços verdes da cidade ou outros fins menos nobres, sendo possível a sua reutilização.

Embora as temperaturas das antigas nascentes termais esteja, atualmente, mais baixa, devido à contaminação com outras águas não significa que um pouco mais em profundidade não exista um recurso hidrotermal, hidromineral e geotérmico importante. Mesmo as emergências com temperaturas acima de 18 °C, se associadas a tecnologias de bombas de calor, podem ser aproveitadas para aquecimento de espaços urbanos.

A recuperação de estruturas de abastecimento toma especial importância na medida em que se trata de património histórico, cultural e pedagógico, que permite realçar o papel da água no quotidiano da população que viveu e ainda vive nesta zona da cidade de Lisboa, sendo um dever a sua recuperação estrutural, visando a criação de condições que permitam a sua visita.

Dada a elevada vulnerabilidade do sistema face à poluição, esta valorização é ainda mais necessária embora já se encontre no atual PDM de Lisboa a definição de medidas de mitigação deste património (PDM, 2012).

O estabelecimento de um percurso pedestre pelas águas de Alfama, com a construção de um folheto intitulado “*Percursos de água em Alfama*” permitirá à população obter uma síntese de conhecimento do foro hidrogeológico, histórico e cultural relativo à Colina do Castelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C., Mendonça, J. J. L., Jesus, M. R., Gomes, A. J. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Centro de Geologia da Universidade de Lisboa & Instituto Nacional da Água.
- PGRH Tejo (2011). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Administração da Região Hidrográfica, Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território.
- Carvalho, R. (2008). O abastecimento de água à cidade de Lisboa: Da Companhia das Águas de Lisboa à EPAL. *Águas Livres*, p. 3.
- Carreira, P.M.M., Araujo, M.F., Nunes, D. (2005). *Isotopic composition of rain and water vapour samples from Lisbon region: Characterization of monthly and daily events*. Isotopic Composition of Precipitation in the Mediterranean Basin in Relation to Air Circulate Patterns and Climate, IAEA-TECDOC-1453, IAEA, Vienna, Austria.
- CFOAACL (1941). *As Águas de Lisboa*. Comissão de Fiscalização das Obras de Abastecimentos de Água à cidade de Lisboa, Lisboa.
- Clark, I. D., & Fritz, P. (1997). *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. United States of America: CRC Press.
- Cruces, A., Lopes, I., Freitas, M., & Andrade, C. (2002). *A Geologia no Litoral – Parte I: Do Tejo à Lagoa de Albufeira, Geologia no Verão 2002 – Guia de Excursão*, Agência Ciência Viva, Departamento de Geologia, Centro de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 7-8 pp.
- IAEA (1981) *Stable Isotope Hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle*. IAEA, Vienna, Technical Reports Series 210.
- Ferreira, A. (2004). *Reconstituição da evolução da zona de Alfama, Implicações Geoarqueológicas*. Relatório de estágio profissionalizante. Faculdade de Ciências – Universidade de Lisboa.
- Guerra, A. C. (2015). *Utilização de isótopos ambientais ($2H$, $13C$, $18O$, $3H$ e $14C$) na caracterização de sistemas hidrominerais e geotérmicos do norte de Portugal (Termas de Monção e Gerês)*. Tese de Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas, Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Lopes, I.M.F. (2001). *Avaliação das condições Geológicas e Geotécnicas para a caracterização do risco sísmico – Aplicação à Colina do Castelo de S. Jorge*. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a Obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada, na especialidade de Geotecnia. Lisboa.
- Marrero-Diaz, R., Ramalho, E. C. (2015). Geochemical characteristics of the ancient Alfama thermomineral springs (Lisbon, Portugal): Preliminary study of their geothermal and hydromineral potential. *Laboratório Nacional de Geologia e Energia*.
- Mendonça, J. L. (2018). *As Águas Subterrâneas e o Abastecimento de Água a Lisboa – As Captações da EPAL*. EPAL, Empresa Portuguesa das Águas Livres S.A., Lisboa.
- Moitinho de Almeida, F. (1972). Parecer Hidrológico sobre uma Sondagem executada no Largo do Chafariz de Dentro para o Metropolitano de Lisboa. *Revista da faculdade de Ciências*, 2ª série. C – Ciências Naturais, Vol. XVII – Fasc 1º, pp. 187-196

- Moniz, C. (2010). *Contributo para o conhecimento da Falha de Pinhal Novo – Alcochete, no âmbito da neotectónica do Vale Interior do Tejo*. Tese de Mestrado em Geologia com especialização em Geologia Estrutural, Faculdade de Ciências – Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Pais, J., Moniz, C., Clavijo, E., Dias, R. P., Manuppella, G., Machado, S. (2006). *Carta Geológica de Portugal 1:50000 – Notícia explicativa da Folha 34-D – Lisboa*.
- Pérez, J. A. (2019). O ciclo urbano da água no Portugal romano. Anais Leirienses – estudos & documentos. Nº 4.
- Pinto, C. (2003). *Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Conselho – Zona Ocidental*. Relatório de estágio Profissionalizante. Faculdade de Ciências - Universidade de Lisboa, Lisboa.
- PDM (1994). Plano Director Municipal de Lisboa. Resolução do Conselho de Ministros nº 94/94, publicado no Diário da República nº 226, de 29 de Setembro de 1994. Componente Geológica com revisão em Agosto 2010
- PDM (2012). Plano Director Municipal de Lisboa. Primeira revisão aprovada em reunião da Assembleia Municipal de 24 de Julho de 2012. Publicado no Diário da República, 2ª Série, nº 168, de 30 de Agosto de 2012.
- Ramalho, E. C., Lourenço, M. C. (2006a). As águas de Alfama – memórias do passado da cidade de Lisboa. Revista APRH, v. 26, 2006.
- Ramalho, E. C., Lourenço, M. C. (2006b). As águas de Alfama como património hidrogeológico de Lisboa. *Actas do VII Congresso Nacional de Geologia*, 29 de Julho a 13 de Julho de 2006.
- Ribeiro, L., Melo, M., Miguéns, F. (2017). Estudo do descritor hidrogeologia para a construção dos túneis Monsanto/Santa Apolónia e Chelas/Beato, no âmbito do plano geral de drenagem de Lisboa. Waterways.
- Ribeiro, O. (1978). O Abastecimento de água à cidade de Lisboa nos séculos XVIII e XIX. Seminário de Fontes da Geografia de Portugal, ano lectivo 1978-1979.
- Sidle, W. (1997). *Environmental Isotopes for Resolutions of Hydrology Problems*

Link 1 - <http://www.cm-lisboa.pt/municipio/historia> . Acedido a 14 de Junho de 2019.

Link 2 - <https://www.epal.pt/EPAL/menu/museu-da-%C3%A1gua/exposi%C3%A7%C3%A3o-permanente-patrim%C3%B3nio-associado/aqueduto-das-%C3%A1guas-livres> . Acedido a 25 de Junho de 2019.

Link 3 - <http://www.cm-lisboa.pt/viver/ambiente/agua/abastecimento> - Acedido a 18 de Junho de 2019.

Link 4 - <https://toponimialisboa.wordpress.com/2018/04/15/o-aqueduto-das-aguas-livres/> - Acedido a 18 de Junho de 2019

Link 5 - <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/70947/> - Ramalho, 2017 (Direção Geral do Património Cultural) - Acedido a 18 de Junho de 2019

Link 6 - <https://fontesechafarizes.wordpress.com/> - Acedido a 28 de Junho de 2020

Link 7 - <http://www.museudelisboa.pt/pecas/detalhe/news/largo-do-chafariz-de-dentro.html> - Acedido a 28 de Junho de 2020

Link 8 - <https://lisboadeantigamente.blogspot.com/2017/12/chafariz-da-praia-de-alfama.html> - Acedido a 28 de Junho de 2020

Link 9 - <https://lisboadeantigamente.blogspot.com/2020/06/fonte-das-ratas.html> - Acedido a 28 de Junho de 2020

Link 10 - <http://termasromanasdoscassios.blogspot.com/2014/01/blog-post.html> - Acedido a 29 de Junho de 2020

ANEXOS

ANEXO 1 – Localização de Estruturas de Abastecimento

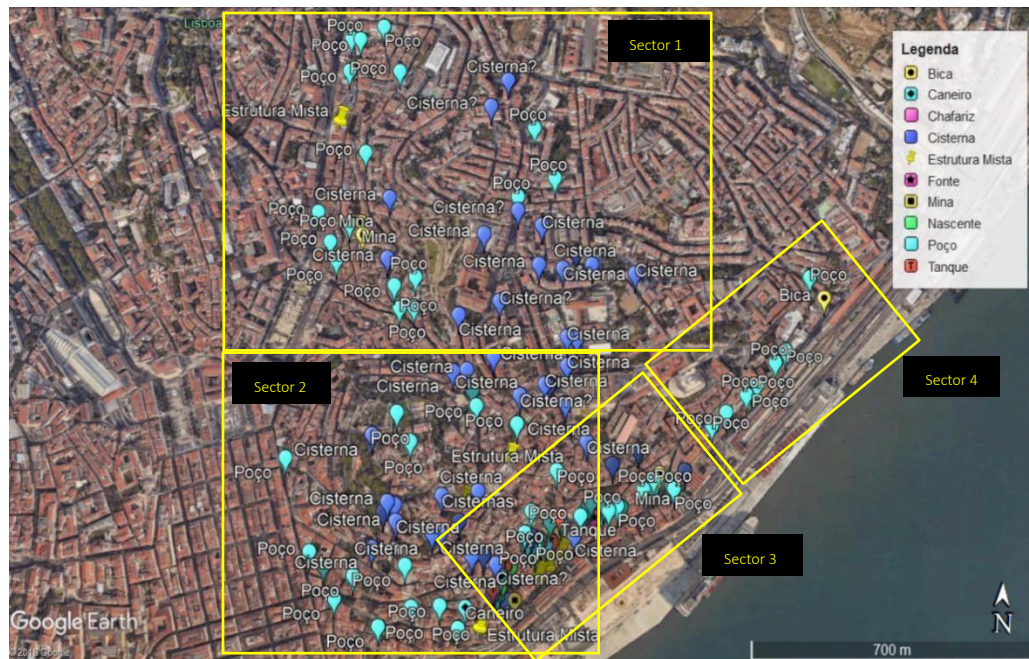


Figura 42: Divisão por sectores das estruturas de abastecimento conhecidas na área em estudo.



Figura 43: Estruturas de abastecimento no Sector 1 da área em estudo.

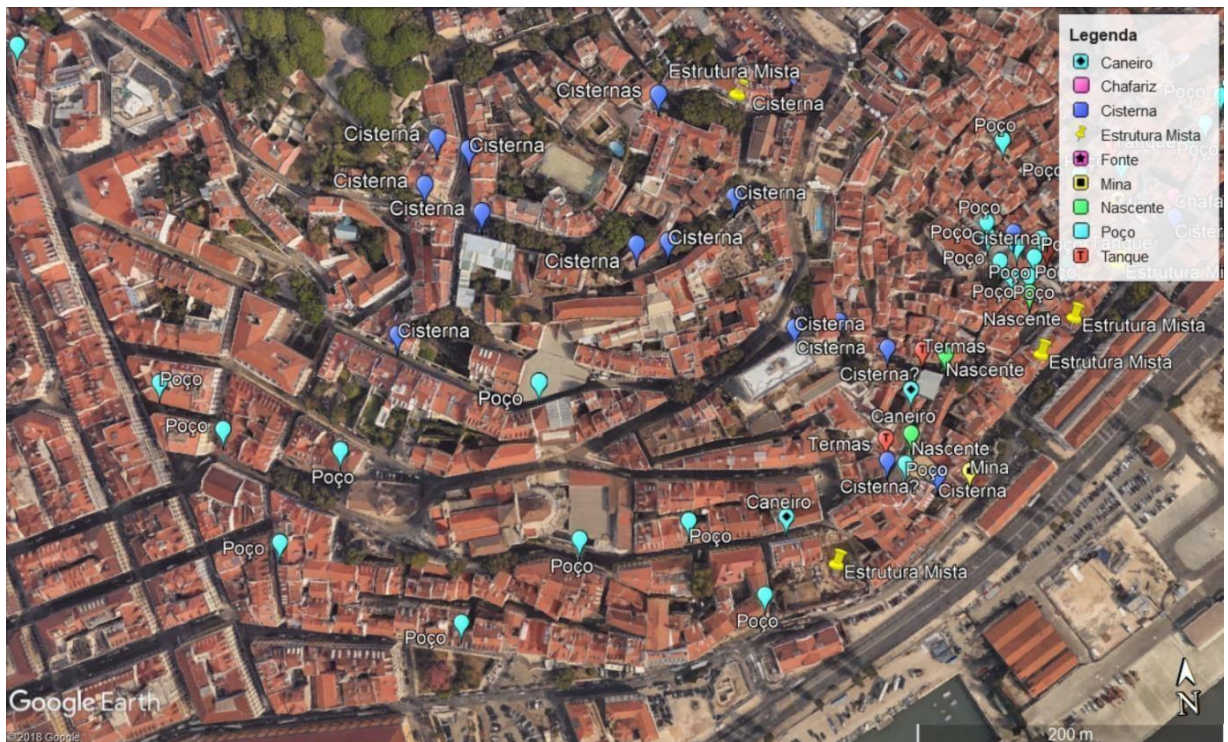


Figura 44: Estruturas de abastecimento no Sector 2 da área em estudo.



Figura 45: Estruturas de Abasteciennnto no Sector 3 da área em estudo.

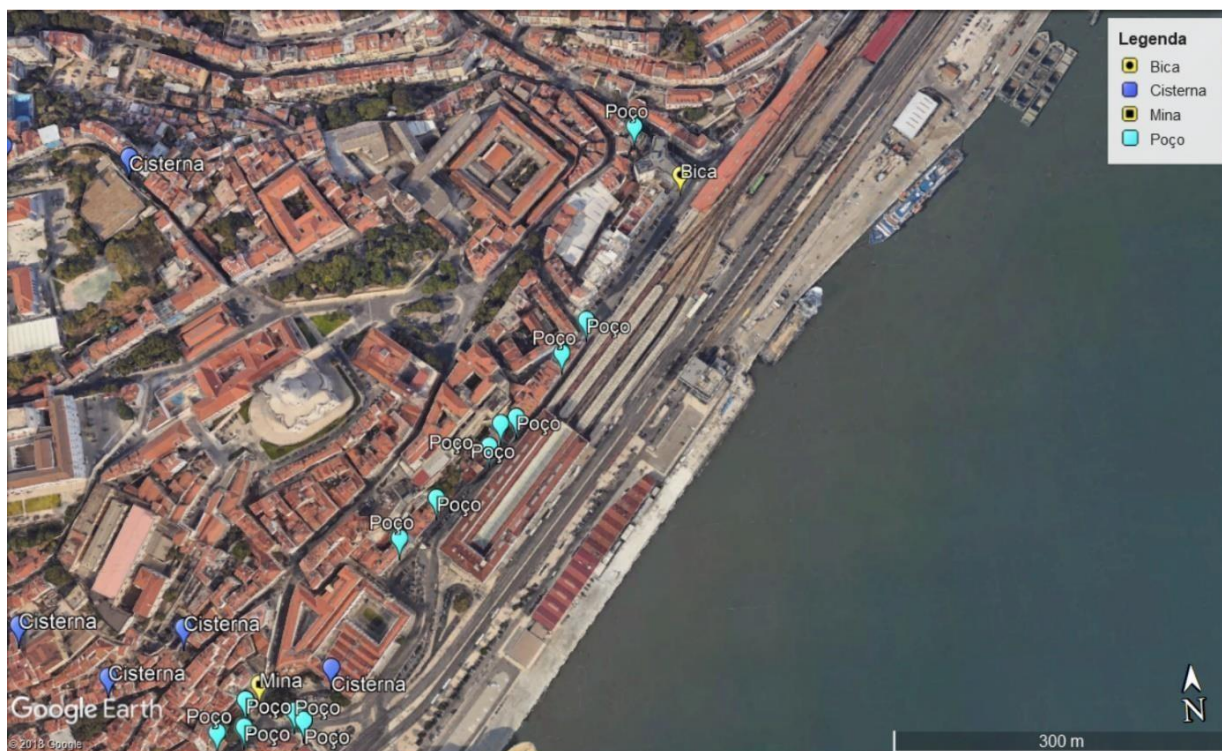


Figura 46: Estruturas de abastecimento no Sector 4 da área em estudo.

ANEXO 2 – Relatórios de sondagens disponibilizadas pela CML

Tabela 8: Relatórios de sondagens e respectivas empresas disponibilizadas pela CML.

Relatório	Empresa
126	Geotest
150	Geocontrole
187	Gapres
225	Goecontrole
226	Teixeira Duarte
296	Tecnasol
299	Construções Técnicas
338	Geocontrole
347	Geocontrole
357	Tecnasol FGE
394	Tecnasol FGE
412	Geocontrole
510	Belbetões
525	Geocontrole
526	Geocontrole
527	Geocontrole
528	Sopecate
541	Geotest
570	Geocontrole
604	Geocontrole
643	Geocontrole
653	Cegê
655	Construções Técnicas
657	Teixeira Duarte
702	Geocontrole
703	Geocontrole
704	Geocontrole
705	Geocontrole
706	Geocontrole
707	Geocontrole
708	Geocontrole
752	Teixeira Duarte
755	Rodio
758	R. Teixeira Duarte
759	Sopecate
761	Tecnosol
768	Sopecate
783	Geocontrole
845	Geocontrole
853	Geocontrole
858	Geocontrole

Relatório	Empresa
872	Geocontrole
893	Geocontrole
946	Geocontrole
956	Geocontrole
962	Sopecate
1012	Tecnosol
1013	Soper
1015	Construções Técnicas
1018	Sopecate
1036	Teixeira Duarte
1061	Fundasol
1087	Tecnosol FGE
1088	Tecnosol FGE
1113	Fundasol
1162	Geocontrole
1196	Geocontrole
1222	Teixeira Duarte
1244	Geotest
1260	Geocontrole
1298	Geocimenta
1302	Geotest
1307	Geocontrole
1330	Geocontrole
1336	Geocontrole
1338	Geocontrole
1348	Betoteste
1629	Geocontrole
1634	Geocontrole
1637	Deltatau
1650	Geoplano
1662	Geotest
1679	Synege
1681	Geocontrole
1701	Mota - Engil
1710	Synege
1750	Geocontrole
1760	Geocontrole
1761	Geocontrole
1773	Geotest
1778	Geotest
1840	Geocontrole

Relatório	Empresa
1852	Geotest
1911	Geotest
1917	Synege
1925	Geotest
1938	Geotest
1958	Geocontrole
1965	Geotest
1991	Geocontrole
1992	Geotest

ANEXO 3 – Ficha de Campo: Locais de Amostragem das Águas de Alfama

Referência: Alfama 1

Data da recolha: 24 de Maio 2019

Referência: Alfama 9 e 10

Data de recolha: 30 de Janeiro de 2020

Descrição: Amostras recolhidas numa cisterna subterrânea no Largo das Alcaçarias (Figura 47), para a qual drenam seis nascentes. A cisterna encontra-se normalmente cheia de água e, para a amostragem das águas junto às emergências, foi necessário utilizar uma bomba de extração da água acumulada. A base da cisterna encontra-se revestida por uma camada de lodo com cerca de 60/70 cm de espessura (informação oral técnicos CML).



Figura 47: Localização da amostra Alfama 1, Alfama 9 e Alfama 10, sobre mapa GoogleEarth.

Beco dos Cortumes

Referência: Alfama 2

Data da recolha: 12 de Julho 2019

Descrição: Amostra recolhida (Figura 49) dentro do edifício que se encontra no Beco dos Cortumes.



Figura 48: Localização da amostra Alfama 2, sobre mapa GoogleEarth.



Figura 49: Local de recolha da amostra Alfama 2, no interior de um edifício no Beco dos Cortumes.

Rua dos Anjos, 10

Referência: Alfama 3

Data da recolha: 12 de Julho 2019

Descrição: Na Rua dos Anjos, nº 10 (Figura 50) foi recolhida uma amostra de água subterrânea numa escavação para reconstrução de um edifício. A escavação estava a ser acompanhada por arqueólogos, por terem sido encontradas estruturas hidráulicas romanas.



Figura 50: Localização da amostra Alfama 3, sobre mapa GoogleEarth.

Chafariz d'El Rei

Referência: Alfama 4

Data da recolha: 30 de Outubro 2019

Descrição: Amostra recolhida na cisterna que se encontra no interior do Chafariz d'El Rei (Figura 51). Onde a água do chafariz ficava armazenada, de forma a abastecer a população.



Figura 51: Localização da amostra Alfama 4, sobre mapa GoogleEarth; no topo direito, pormenor da cisterna onde foi recolhida a amostra.

Cisterna Museu do Fado

Referência: Alfama 5

Data da recolha: 30 de Outubro 2019

Descrição: A amostra Alfama 5 foi recolhida na cisterna localizada por baixo do atual Museu do Fado (Figura 52 e Figura 53) (instalado na antiga “Estação elevatória de Águas do recinto da Praia”), que se pensa corresponder ao antigo Chafariz da Praia.

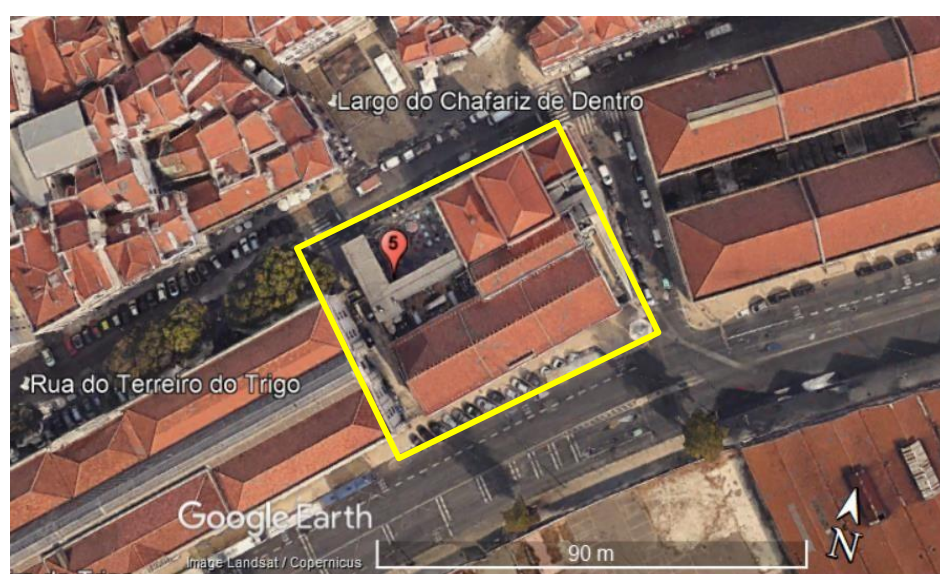


Figura 52: Localização da amostra Alfama 5.



Figura 53: Local de amostragem da água Alfama 5, na Cisterna do Museu do Fado.

Chafariz de Dentro

Referência: Alfama 6

Data da recolha: 30 de Outubro 2019

Descrição: A amostra Alfama 6 foi recolhida na cisterna onde está armazenada a água, que em tempos seguia até ao Chafariz de Dentro (Figura 54, Figura 55 e Figura 56).



Figura 54: Localização da amostra Alfama 6.



Figura 55: Cisterna na qual foi realizada a amostragem.



Figura 56: Cisterna na qual foi realizada a amostragem.

Poço na Capela da Nossa Senhora dos Remédios

Referência: Alfama 7

Data da recolha: 30 de Outubro 2019

Descrição: Na Capela da Nossa Senhora dos Remédios (Figura 57), também conhecida como Ermida do Espírito Santo, encontra-se um poço com cerca de um metro e meio de altura de água (Figura 60), no qual foi possível recolher uma amostra (Figura 61).



Figura 57: Localização da amostra Alfama 7.



Figura 58: Exterior da Capela da Nossa Senhora dos Remédios;



Figura 59: Interior da Capela da Nossa Senhora dos Remédios;



Figura 60: Poço do qual foi recolhida a amostragem



Figura 61: Material utilizado na recolha de amostragem

Traseiras do Chafariz d'El Rei

Referência: Alfama 8

Data da recolha: 13 de Novembro 2019

Descrição: A amostra designada por Alfama 8 foi recolhida no subterrâneo de um edifício privado, onde foram identificadas galerias romanas aquando da sua reabilitação. A amostra foi recolhida numa pequena escorrência no interior das galerias.

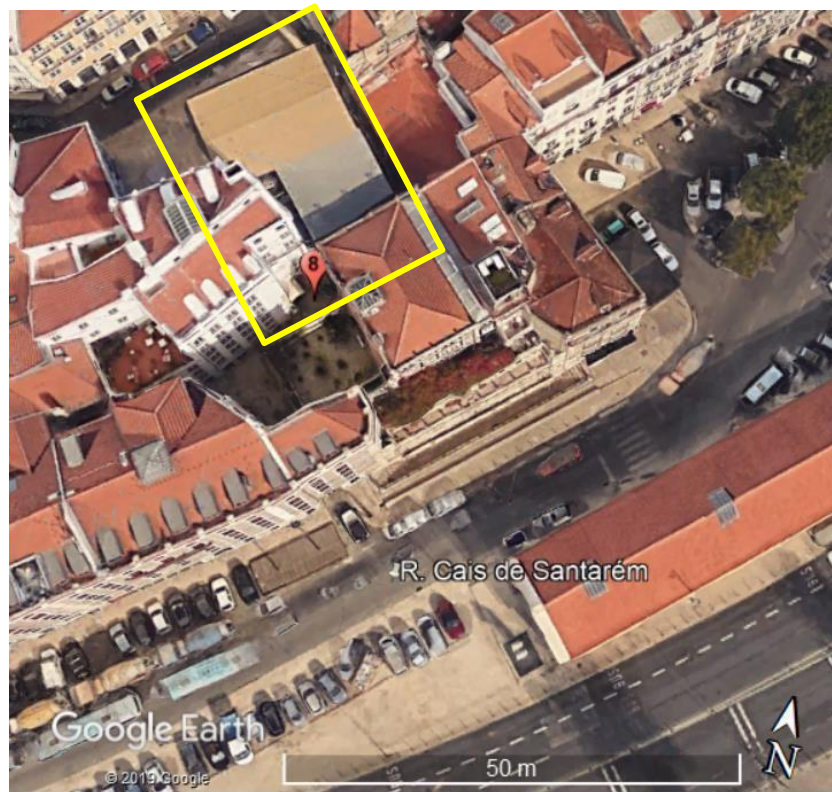


Figura 62: Localização da amostra Alfama 8.



Figura 63: Entrada para o edifício no qual se encontrava a nascente.



Figura 64: Entrada para as galerias romanas na qual se encontra a nascente.



Figura 65: Tuneis romanos no qual se encontra a nascente amostrada.



Figura 66: Local de amostragem.



Figura 67: Local da nascente.



Figura 68: Recolha da amostra.

ANEXO 4 – Resultados (Gráficos e Diagramas de Piper)
 Alfama 1: Largo das Alcaçarias

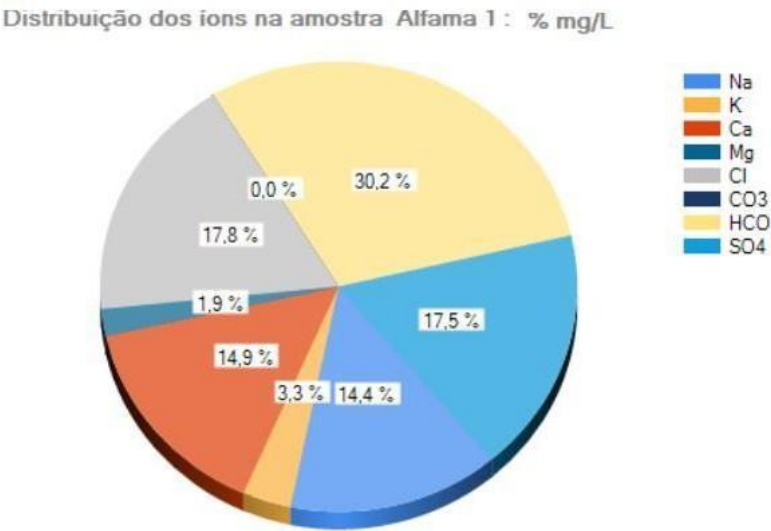


Figura 69: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 1.

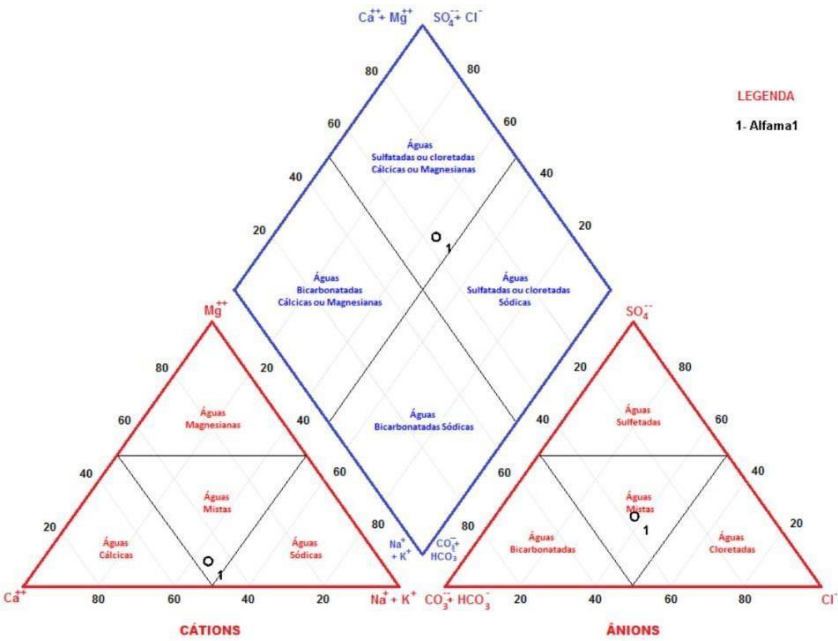


Figura 70: Diagrama de Piper da amostra Alfama 1.

Alfama 2: Beco dos Cortumes

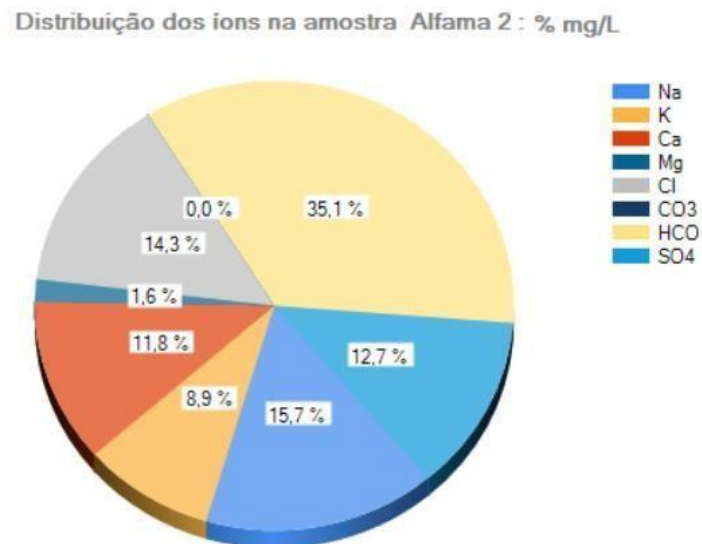


Figura 71: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 2.

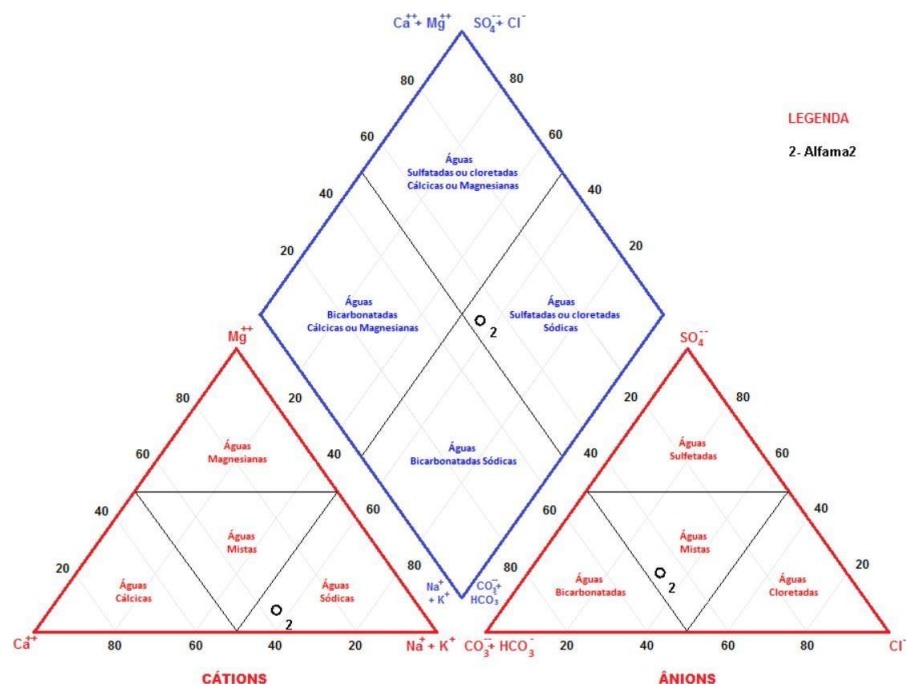


Figura 72: Diagrama de Pipper da amostra Alfama 2.

Alfama 3: Rua dos Anjos, 10

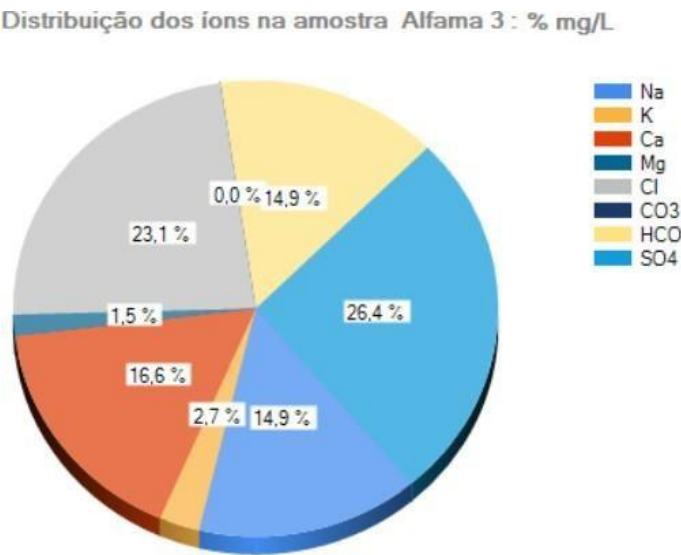


Figura 73: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 3.

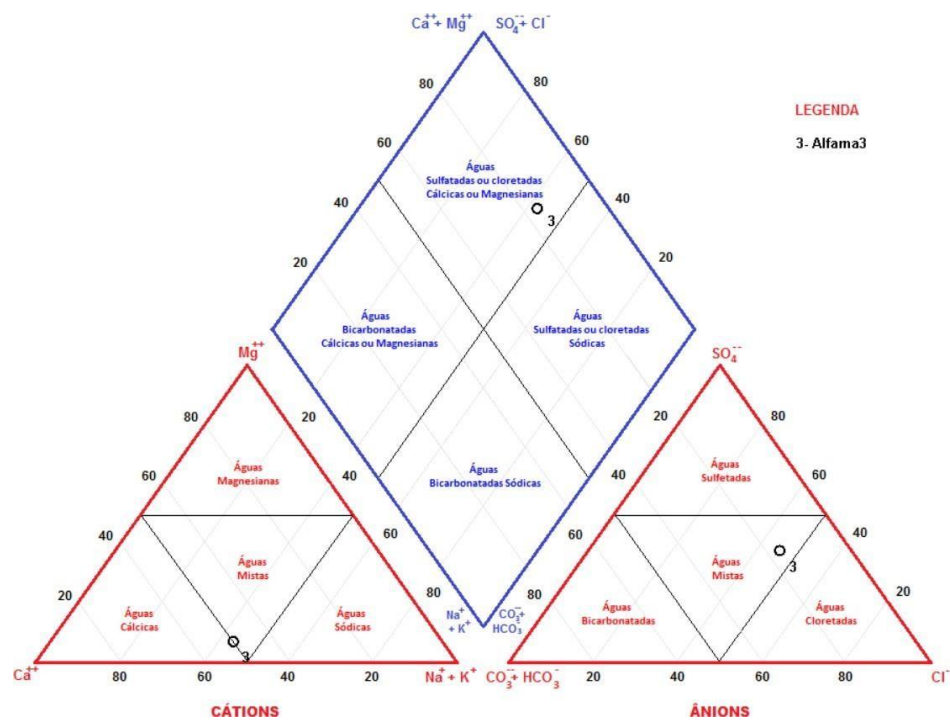


Figura 74: Diagrama de Piper da amostra Alfama 3.

Alfama 4: Chafariz d'El Rei



Figura 75: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 4.

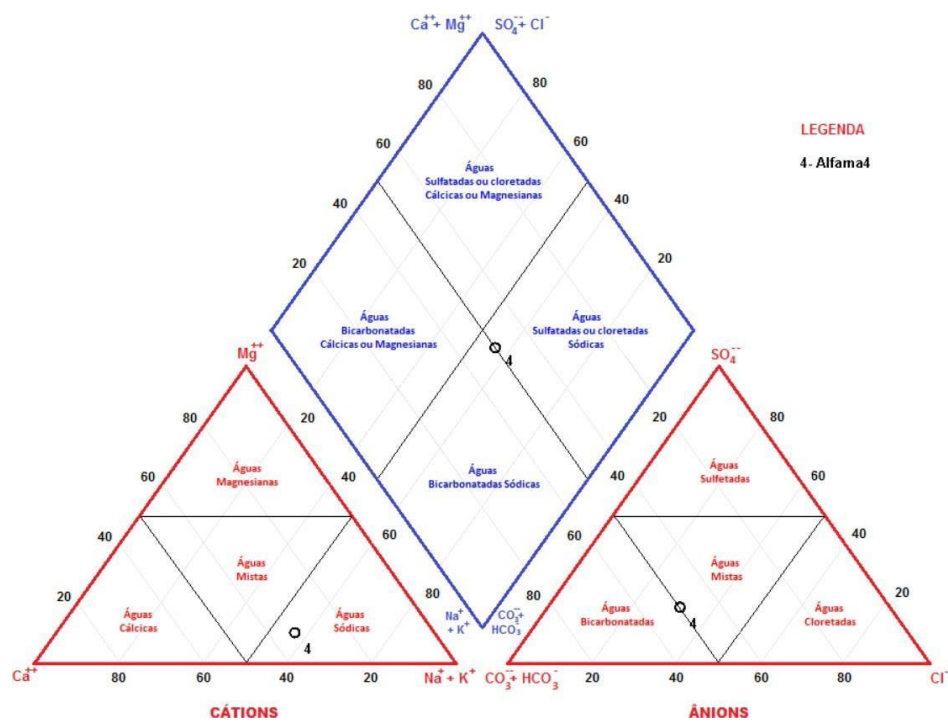


Figura 76: Diagrama de Pipper da amostra Alfama 4.

Alfama 5: Museu do Fado

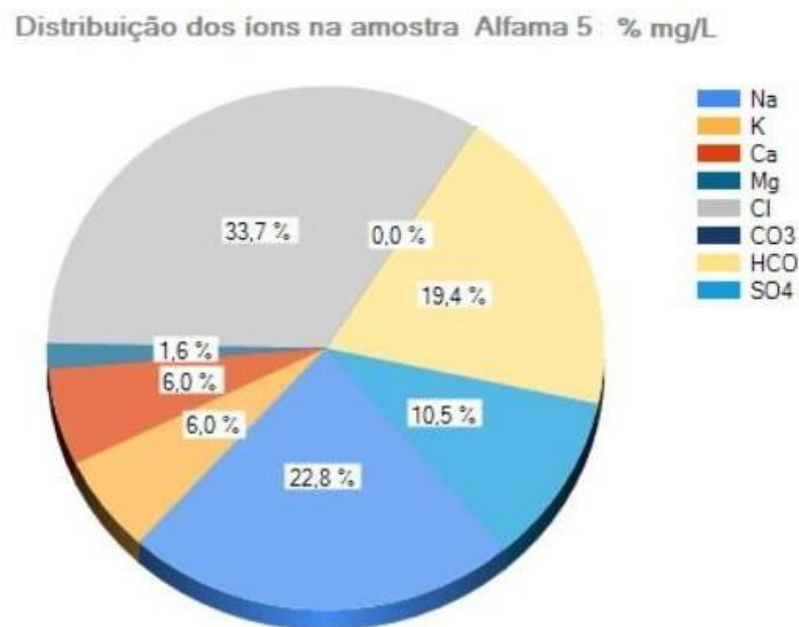


Figura 77: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 5.

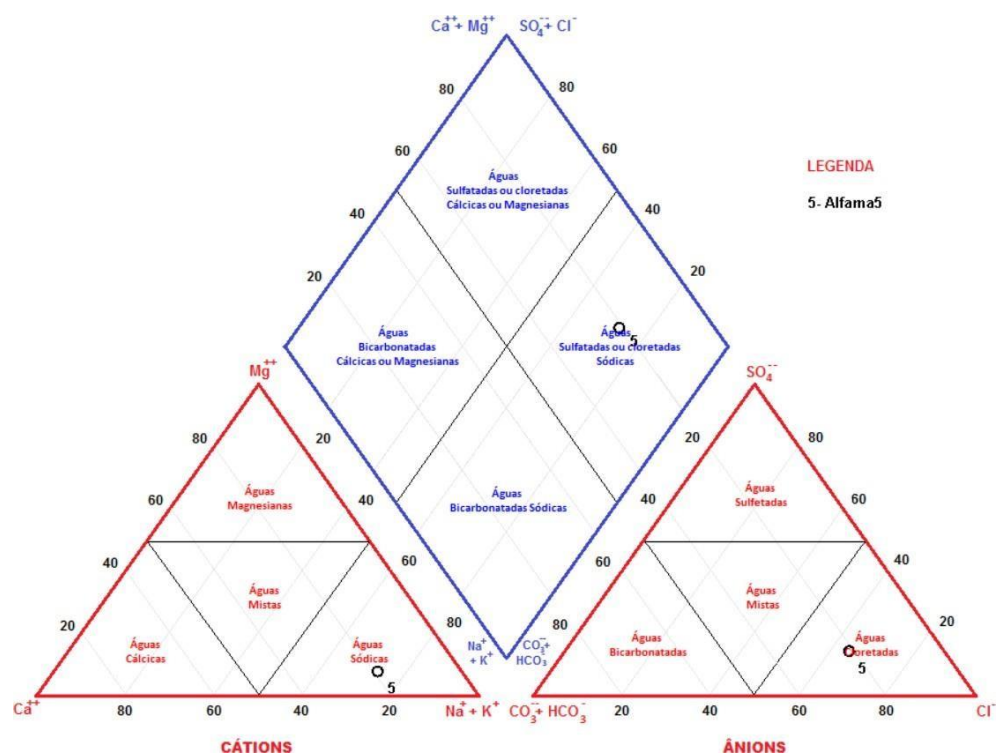


Figura 78: Diagrama de Piper da amostra Alfama 5.

Alfama 6: Chafariz de Dentro

Distribuição dos íons na amostra Alfama 6 : % mg/L

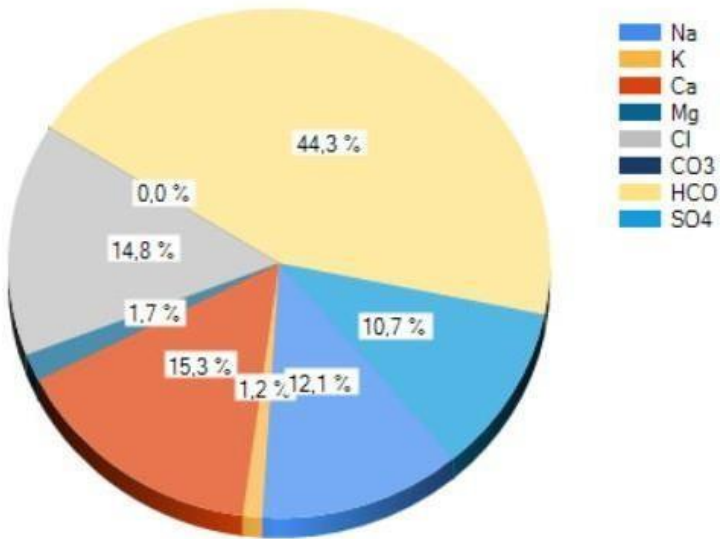


Figura 79: Gráfico de distribuição dos íões na amostra Alfama 6.

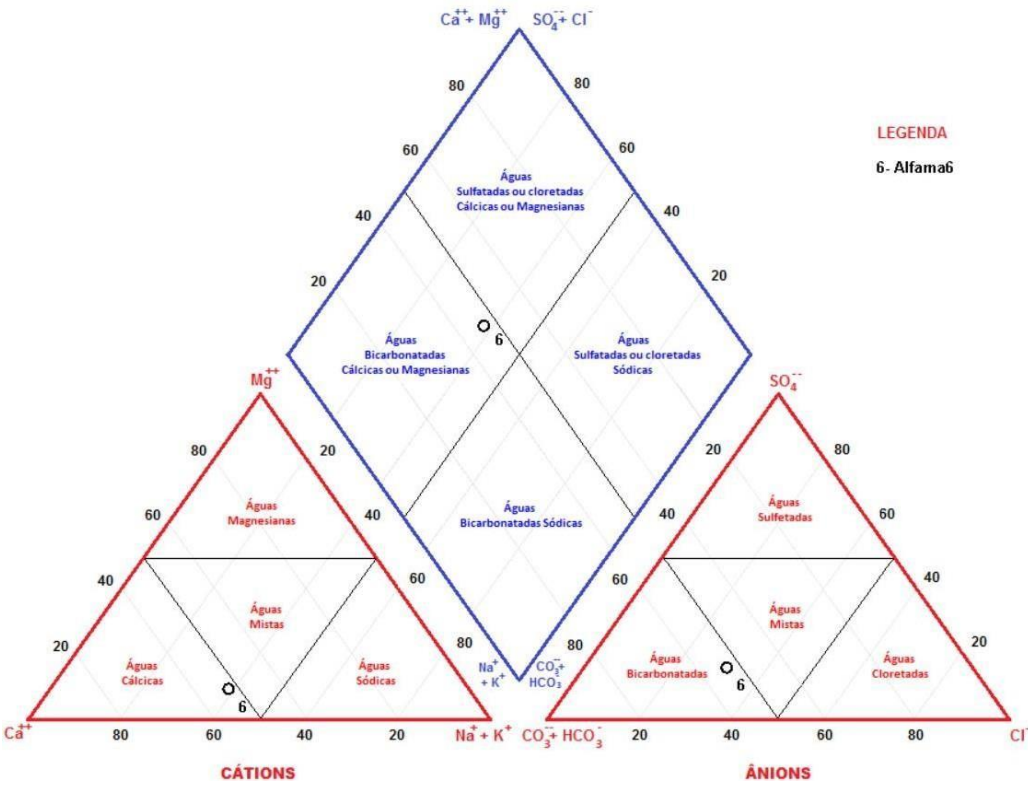


Figura 80: Diagrama de Piper da amostra Alfama 6.

Alfama 7: Poço da Capela da Nossa Senhora dos Remédios

Distribuição dos íons na amostra Alfama 7 : % mg/L

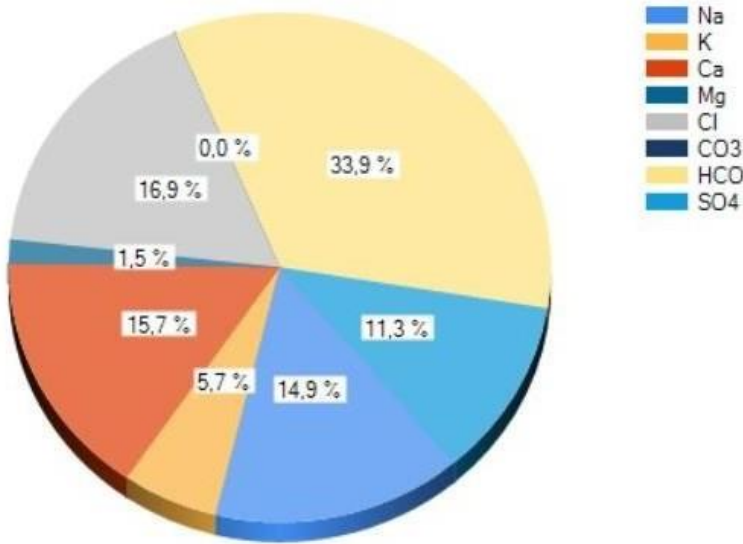


Figura 81: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 7.

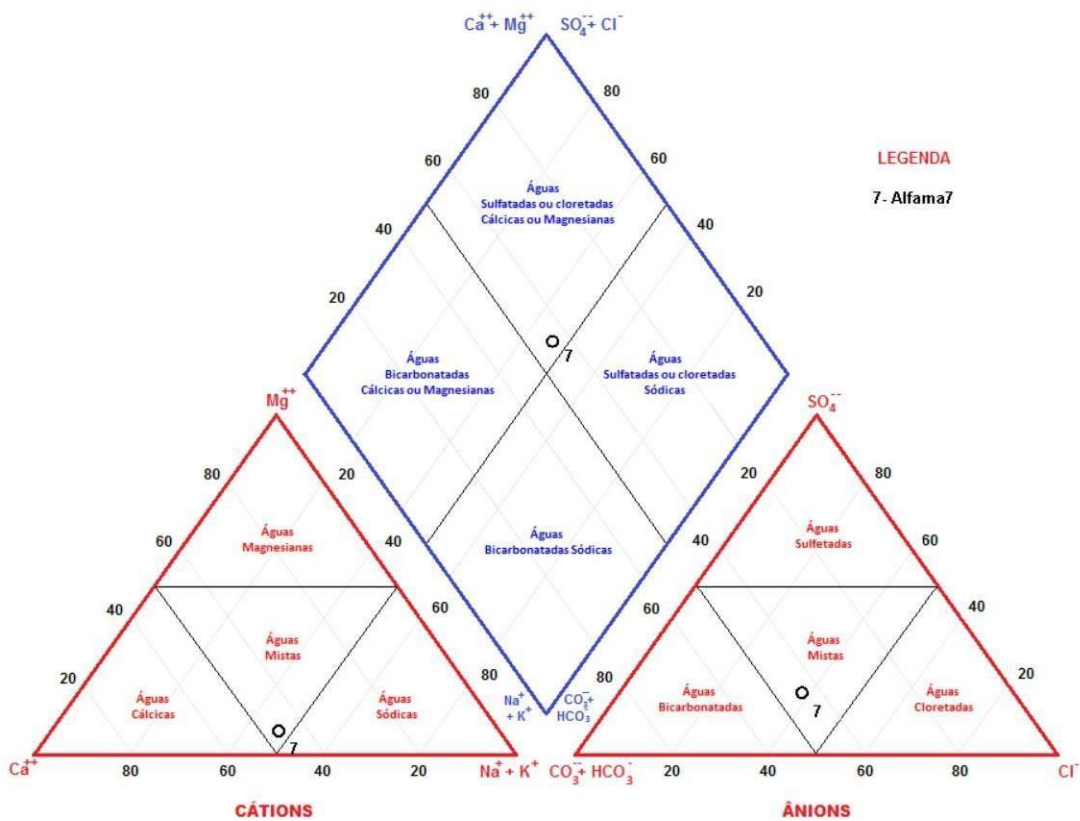


Figura 82: Diagrama de Piper da amostra Alfama 7.

Alfama 8: Traseiras do Chafariz d'El Rei

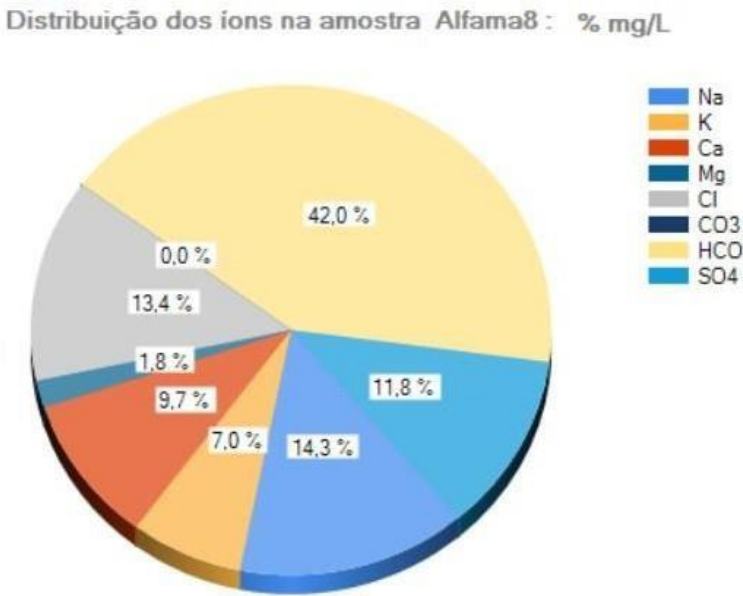


Figura 83: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 8.

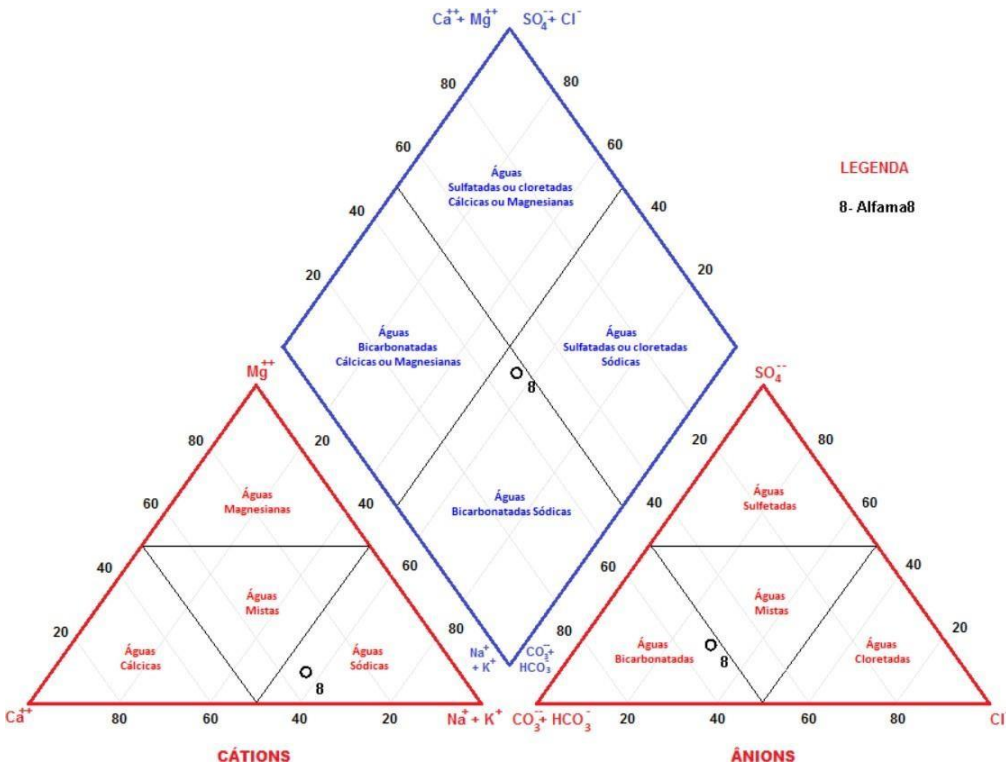


Figura 84: Diagrama de Piper da amostra Alfama 8.

Alfama 9: Largo das Alcaçarias

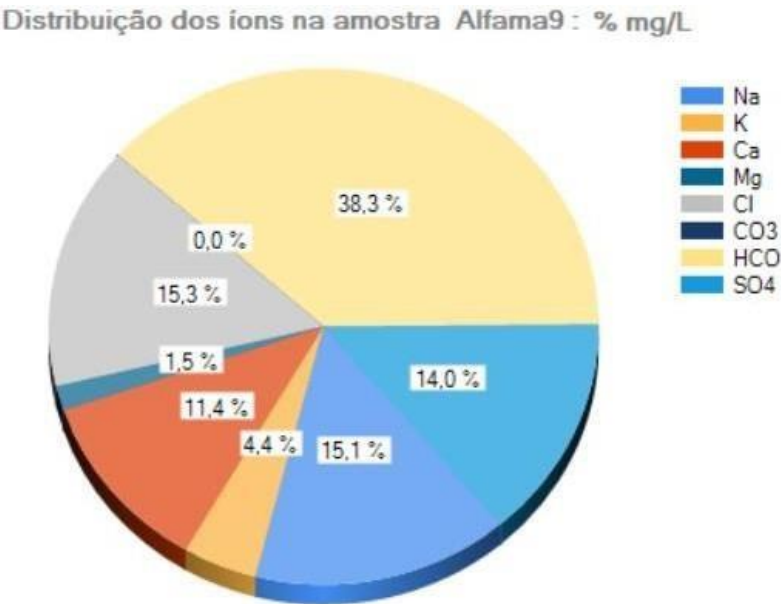


Figura 85: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 9.

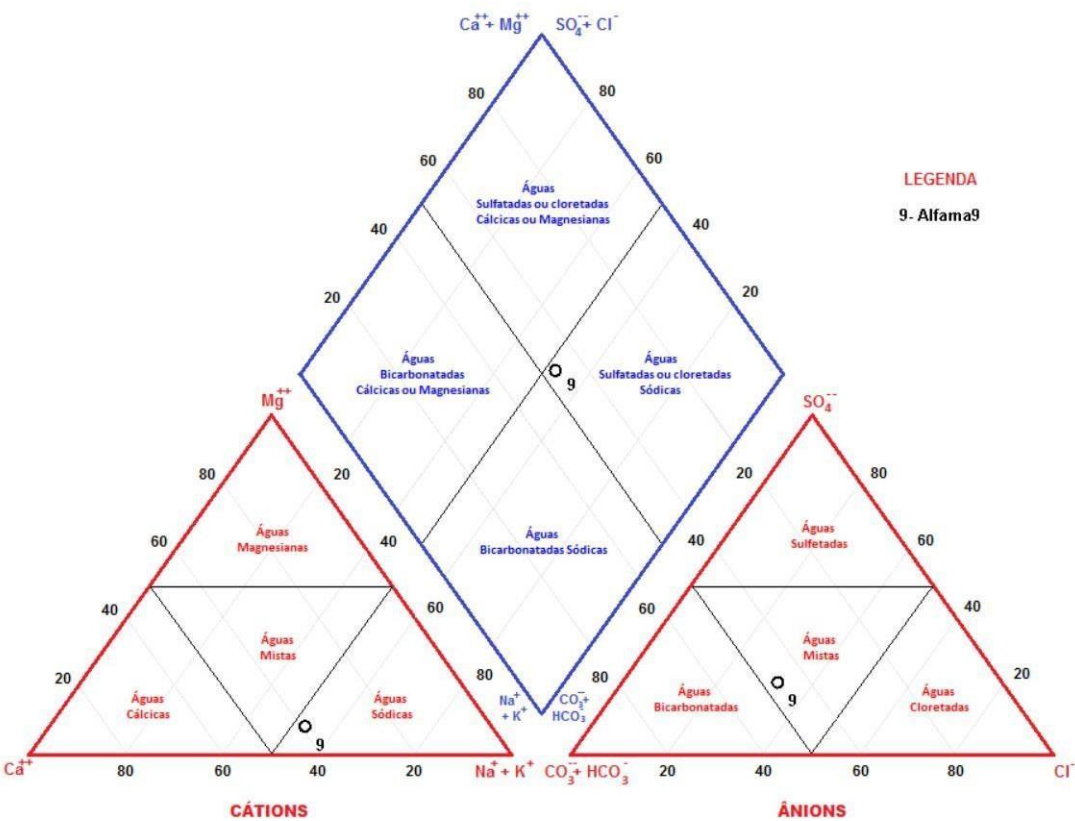


Figura 86: Diagrama de Piper da amostra Alfama 9.

Alfama 10: Largo das Alcaçarias

Distribuição dos iões na amostra Alfama10 : % mg/L

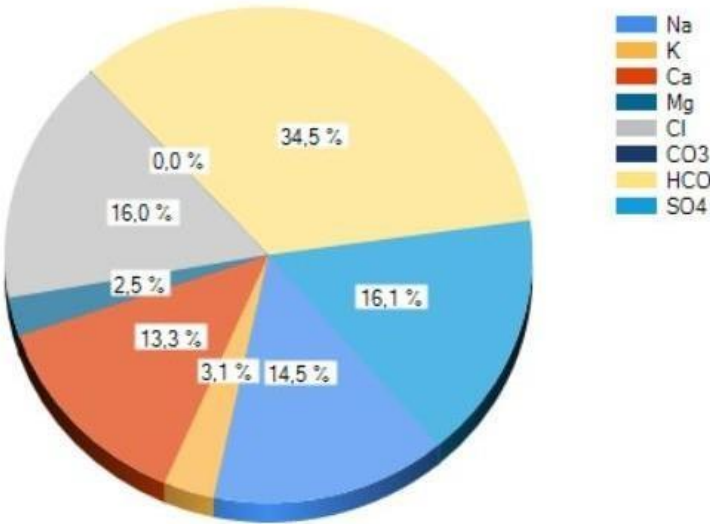


Figura 87: Gráfico de distribuição dos iões na amostra Alfama 10.

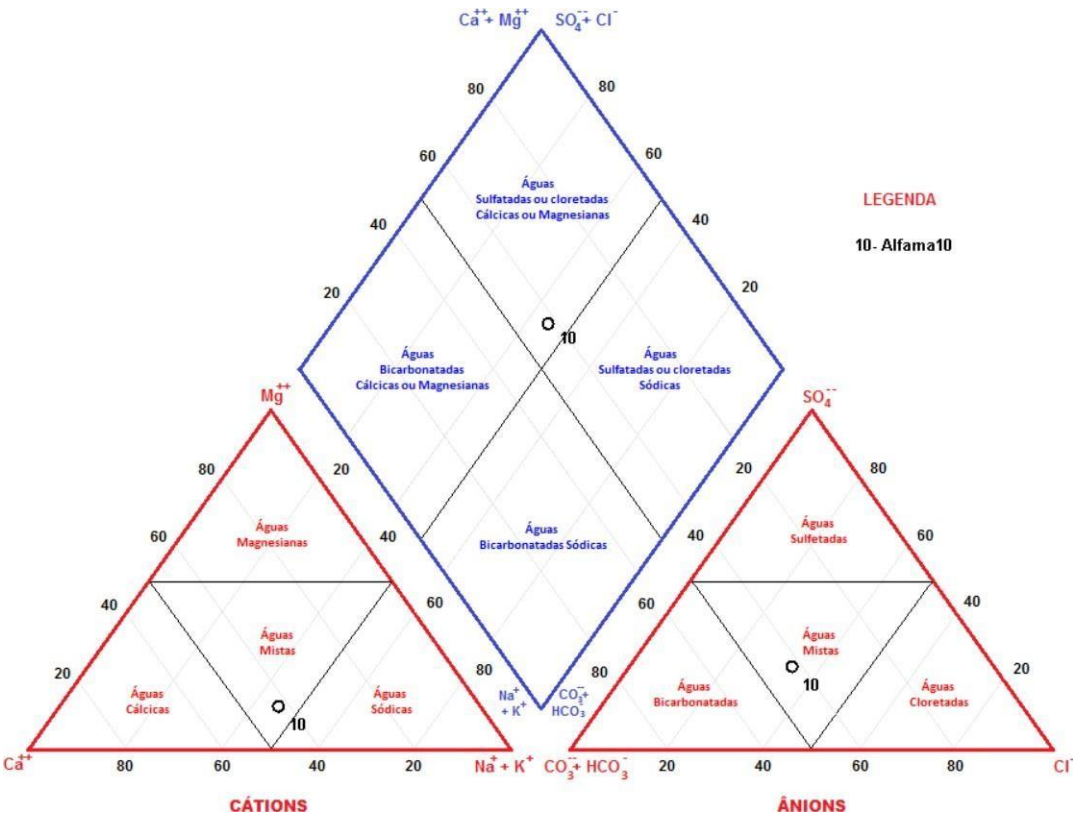


Figura 88: Diagrama de Piper da amostra Alfama 10.

ANEXO 5 – Folheto: Percursos da água em Alfama

Alfama é rica em nascentes termais conhecidas desde o tempo dos árabes.

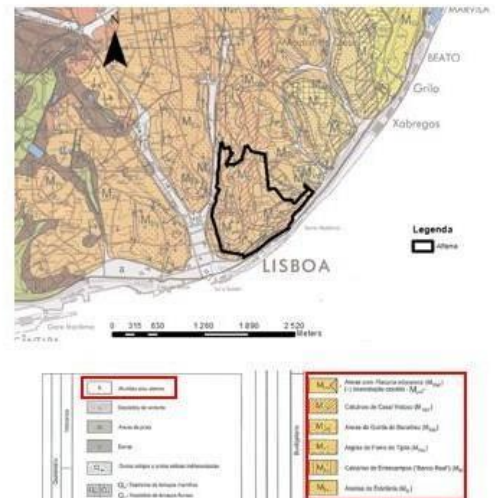
A palavra Alfama tem origem no termo *Alhama*, que significa fonte quente (Ramalho e Lourenço, 2006).

A história das águas de Alfama mostra a importância do seu aproveitamento em benefício das populações, seja através das virtudes terapêuticas seja através das actividades ligadas à água.

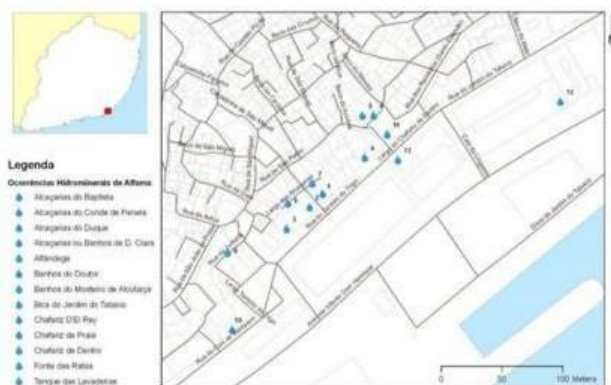
LOCALIZAÇÃO



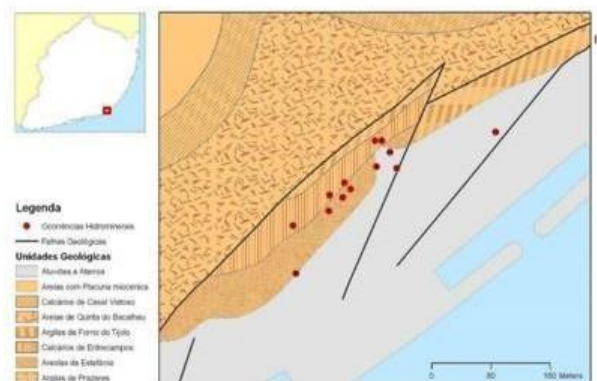
GEOLOGIA DE ALFAMA



HIDROGEOLOGIA DE ALFAMA



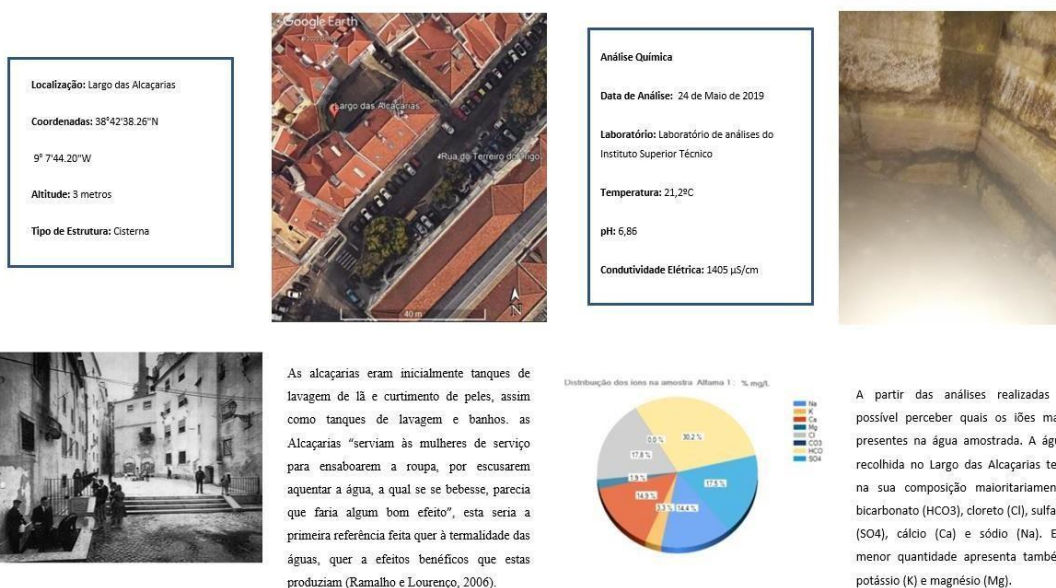
Em Alfama ocorrem várias nascentes de temperaturas acima dos 20°C. Estas nascentes ocorrem num alinhamento de sudoeste para nordeste. Ao longo do tempo estas nascentes foram aproveitadas pelas populações através de captações realizadas neste alinhamento (Ferreira, 2004).



Estas águas quentes ascendem devido ao sistema de falhas que ocorre nesta zona. A sua temperatura pode ser explicada pela ascensão de águas provenientes de formações cretácicas a cerca de 450 metros de profundidade, através de uma fractura profunda (Ferreira, 2004).

Figura 89: : Interior do folheto: Localização, Geologia e Hidrogeologia de Alfama.

1 LARGO DAS ALÇAÇARIAS



É junto ao Largo das Alcaçarias que encontramos grande parte das aparições termais desta zona de Alfama.

Figura 90: Interior do folheto - descrição da primeira paragem do percurso (Largo das Alcaçarias).

2 BECO DOS CORTUMES



Figura 91: Interior do Folheto - descrição da segunda paragem do percurso (Beco dos Cortumes).

4 CHAFARIZ d'EL REI

Localização: Rua Cais de Santarém

Coordenadas: 38°42'34.64"N

9° 7'46.25"W

Cota: 2 metros

Tipo de Estrutura: Nascente



Análise Química

Data de Análise: 30 de Outubro 2019

Laboratório: Laboratório de análises do Instituto Superior Técnico

Temperatura: 18,58°C

pH: 7,56

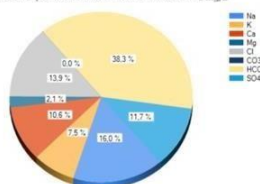
Condutividade Elétrica: 1190 µS/cm



O Chafariz d'El Rei é considerado o avô dos chafarizes. Situado no Terreiro do Trigo, matava a sede de toda a gente do sítio e abastecia os navios que partiam para as conquistas. Este era o chafariz que abastecia a cidade de Lisboa, mesmo em momentos de grande escassez de água para abastecer a população, tendo mesmo sido restringida a sua utilização.

As águas do Chafariz de El Rei encontram-se não apenas onde hoje se encontra o chafariz, mas também a cerca de 40 metros para o interior da colina, tendo sido captadas por meio de galeria que tem respiradouro para a rua de S. João da Praça (Andrade, 1935).

Distribuição dos iões na amostra: Alíquota 4 : % mg/l.



A partir das análises realizadas é possível perceber quais os iões mais presentes na água amostrada. A água recolhida no Chafariz d'El Rei tem na sua composição maioritariamente bicarbonato (HCO₃), sódio (Na), sulfureto (SO₄) e cloreto (Cl). Em menor quantidade apresenta também, cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg).

Figura 92: Interior do Folheto - descrição da terceira paragem do percurso (Chafariz d'El Rei).

5 MUSEU DO FADO

Localização: Largo do Chafariz de Dentro,1

Coordenadas: 38°42'39.32"N

9° 7'40.20"W

Altitude: 2 metros

Tipo de Estrutura: Antiga Mãe de água, Cisterna



Análise Química

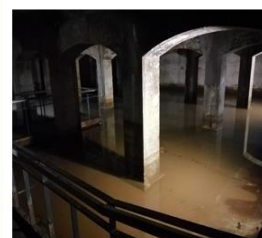
Data de Análise: 30 de Outubro 2019

Laboratório: Laboratório de análises do Instituto Superior Técnico

Temperatura: 19,68°C

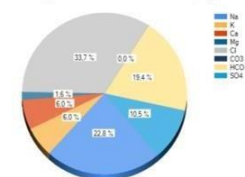
pH: 8,40

Condutividade Elétrica: 1648 µS/cm



Onde hoje se encontra o Museu do Fado, foi em tempo designado como "Estação elevatória de Águas do recinto da Praia". Desde o século XVI que existia, neste local, um fontanário designado como Chafariz de Fora (ou Chafariz da Praia) em contraponto ao Chafariz de Dentro. A designação deste edifício como "Estação elevatória de Águas do Recinto da Praia" deve-se à existência de uma praia onde os navios paravam para fazer a aguada (recolha de água). Em 1880 esta estação passou a ter um estatuto de reserva na estratégia de abastecimento de água à cidade de Lisboa (Site 2).

Distribuição dos iões na amostra: Alíquota 5 : % mg/l.



A partir das análises realizadas é possível perceber quais os iões mais presentes na água amostrada. A água recolhida no Museu do Fado tem na sua composição maioritariamente cloreto (Cl), sódio (Na), bicarbonato (HCO₃). Em menor quantidade apresenta também sulfureto (SO₄), cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg).

Figura 93: Interior do folheto - descrição da quarta paragem do percurso (Museu do Fado).

6 CHAFARIZ DE DENTRO

Localização: Largo do Chafariz de Dentro
Coordenadas: 38°42'40.76"N
 9° 7'41.05"W
Altitude: 2 metros
Tipo de Estrutura: Cisterna



Análise Química

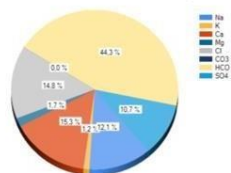
Data de Análise: 30 de Outubro 2019
Laboratório: Laboratório de análises do Instituto Superior Técnico
Temperatura no campo: 20,9°C
pH no campo: 7,21
Condutividade Elétrica: 641,8 µS/cm



Inicialmente este chafariz seria designado de Chafariz dos Cavalos, devido às suas bicas de bronze em forma de cabeça de cavalo, foi a partir do séc. XIV que passou a ser designado como Chafariz de Dentro vem do facto de se encontrar no interior da cerca fernandina. (Site 3)

Nas traseiras do Chafariz de dentro localizavam-se os Banhos do Doutor (Fernando), que se acredita terem origem no período filipino (Ramalho e Lourenço, 2006).

Distribuição dos iões na amostra Alfama 6 : % mg/L

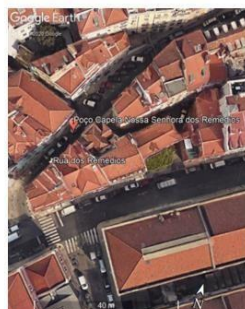


A partir das análises realizadas é possível perceber quais os iões mais presentes na água amostrada. A água recolhida no Chafariz de Dentro tem na sua composição maioritariamente bicarbonato (HCO₃), cálcio (Ca), cloreto (Cl), sódio (Na). Em menor quantidade apresenta também sulfureto (SO₄), magnésio (Mg) e potássio (K).

Figura 94: Interior do folheto - descrição da quinta paragem do percurso (Chafariz de Dentro).

7 POÇO CAPELA DA NOSSA SENHORA DOS REMÉDIOS

Localização: Rua dos Remédios
Coordenadas: 38°42'41.67"N
 9° 7'39.37"W
Altitude: 4 metros
Tipo de Estrutura: Poço



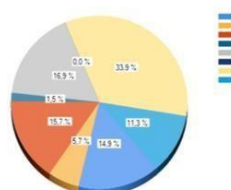
Análise Química

Data de Análise: 30 de Outubro 2019
Laboratório: Laboratório de análises do Instituto Superior Técnico
Temperatura: 20,7°C
pH: 7,61
Condutividade Elétrica: 1190 µS/cm



Na Capela da Nossa Senhora dos Remédios, também conhecida como Ermida do Espírito Santo, encontra-se um poço com cerca de um metro e meio de água. Segundo a lenda, terá sido encontrada uma imagem da virgem dentro de um poço, ficando as suas águas milagrosas (Site 4).

Distribuição dos iões na amostra Alfama 7 : % mg/L



A partir das análises realizadas é possível perceber quais os iões mais presentes na água amostrada. A água recolhida no poço da capela da Nossa Senhora dos Remédios tem na sua composição maioritariamente bicarbonato (HCO₃), cloreto (Cl), cálcio (Ca), sódio (Na). Em menor quantidade apresenta também sulfureto (SO₄), potássio (K) e magnésio (Mg).

Figura 95: Interior do Folheto - descrição da sexta paragem do percurso (Capela da nossa Senhora dos Remédios).

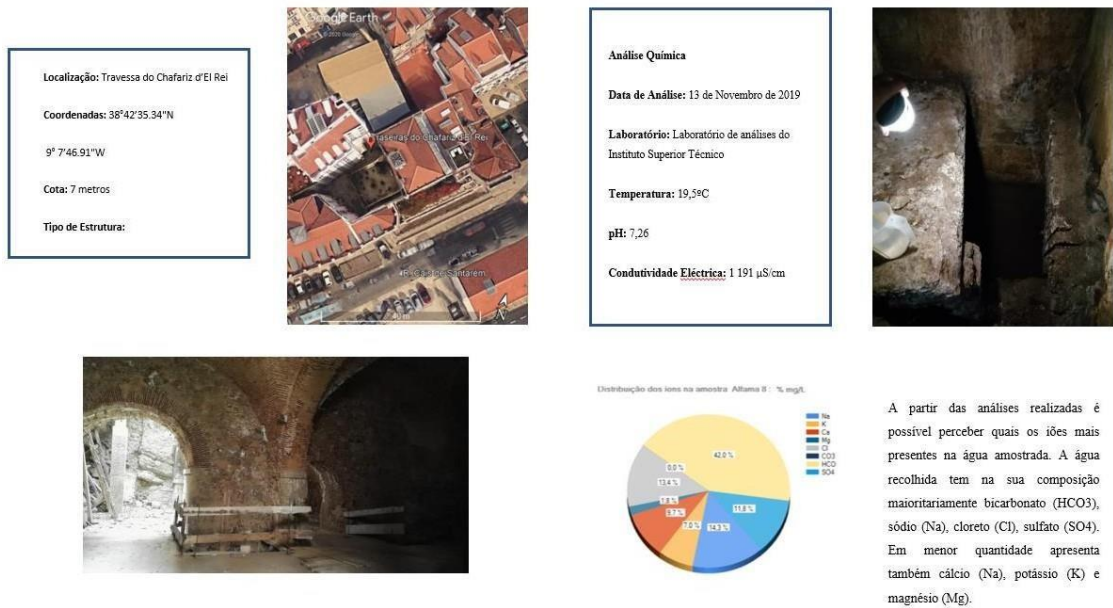


Figura 96: Interior do folheto - sétima paragem do percurso (Traseiras do Chafariz d'El Rei).